ISSN(print) 1226-5012
J Korean Ophthalmic Opt Soc. 29(3):123-130, September 2024
http://dx.doi.org/10.14479/jkoos.2024.29.3.123

Effects of Distance and Luminance on Visual Function in Adults in their 20s Using Digital Devices in the Dark

Seung Won Jeong[1,a], Min-kyeong Seo[1,b], Mijung Park[2,c], and So Ra Kim[2,d,*]

[1]Dept. of Optometry, Seoul National University of Science and Technology, Student, Seoul 01811, Korea
[2]Dept. of Optometry, Seoul National University of Science and Technology, Professor, Seoul 01811, Korea
(Received August 05, 2024: Revised August 20, 2024: Accepted August 30, 2024)

Purpose: The effects of the display luminance condition and viewing distance on visual functions during the use of digital devices in the dark were investigated. **Methods:** Seventeen subjects in their 20s were asked to watch a video on a digital device for 15 min under two different luminance conditions, i.e., low (3.17±1.42 cd/m^2) or high (423.7±3.65 cd/m^2), at distances of 33 and 50 cm in a scotopic condition (0 lux). To assess changes in visual function before and after use of the digital device, the accommodative amplitude and lag, phorias at near and far distances, AC/A ratio, and stereopsis were measured. **Results:** Under low luminance at a viewing distance of 33 cm, the change in binocular accommodative amplitude exhibited a statistically significant increase compared with that under high luminance. Under the low-luminance condition, a statistically significant change was observed only at the distance of 33 cm. Accommodative lag did not show a consistent changing pattern based on the luminance or distance. For far phoria, there was a tendency of esophoric shift as the viewing distance decreased, and high luminance tended to induce exophoric shift. Near phoria showed a tendency of esophoric shift under low luminance compared with high luminance at 33 cm. The calculated AC/A ratio showed a larger decrease at 33 cm under high luminance compared with low luminance, with significant change observed only at 33 cm under high luminance. Regardless of the luminance condition, stereopsis decreased to a greater extent at 33 cm, with a larger decrease observed under high luminance compared with low luminance. **Conclusions:** This study indicated that in the scotopic condition, using a digital device with a low-luminance display results in smaller changes in visual function and cross-link strength compared with a high-luminance display. Additionally, under the low-luminance condition, stereopsis was less diminished at a distance of 50 cm. Therefore, to minimize changes in visual function and reduce fatigue when using digital devices in the dark, it is recommended to use low-luminance displays and maintain a viewing distance of 50 cm.

Key words: Dark condition, Display luminance, Visual function, Viewing distance

서 론

다양한 휴대용 디지털기기 화면에 사용되고 있는 auto brightness control(ABC) 기술은 주변 조도에 맞춰 스마트폰 디스플레이의 밝기, 즉 휘도를 자동 조절해 주는 기술이다. 따라서 조도가 높은 환경에 있다면 스마트폰의 휘도는 높아지며, 반대로 조도가 낮은 환경에서의 스마트폰 휘도는 낮아진다. Liu 등[1]의 연구에 따르면 디스플레이의 휘도가 감소할수록 시각적 편안함은 감소하며, Na 등[2]의 연구에 따르면 1000 Lux 이하에서는 디스플레이의 휘도가 밝을수록 편안하였으나 조도가 어두워질수록 디스플레이의 휘도가 낮아져야 편안함을 느낀다고 하였다. 하지만 스마트폰의 ABC 모드는 낮 시간에 사용하도록 디자인된 것이며 어두운 곳에서 사용하기에는 디스플레이가 밝아 어두운 환경에서 작업 시 편안한 정도의 낮은 휘도를 제공하지 못한다.[3] 따라서 낮은 조도에서 ABC 기술을 사용할 경우, 디스플레이의 휘도가 밝게 체감되는 경우가 종종 생기며 반대로 밝은 조도에서는 디스플레이의 휘도가 어둡게 체감되는 경우가 발생한다.

전 세계 13국의 13,004명을 대상으로 설문조사[4]를 진행한 결과, 자기 전까지 스마트폰을 사용하는 비율이 39%, 침대에서 핸드폰을 사용하는 비율이 74%에 달하였고 이는 수면 만족도에 영향을 미치며, 실제로 한국인의 수면 만족도가 가장 낮은 것으로 나타났다. 또한 취침 3시간 전의 시간 사용을 조사한 결과, 저 취침시간 지연군(bedtime procrastination)에 비해 고 취침시간 지연군에서 스마트폰

*Corresponding author: So Ra Kim, TEL: +82-2-970-6264, E-mail: srk2104@seoultech.ac.kr
Authors ORCID: [a]https://orcid.org/0009-0000-9637-5920, [b]https://orcid.org/0000-0003-0515-3199, [c]https://orcid.org/0000-0002-4645-7415, [d]https://orcid.org/0000-0001-8786-2815

사용과 TV 시청이 통계적으로 유의하게 더 높았다. 이러한 관련 연구 및 조사를 통하여 어두운 조도에서 디지털 기기를 활용한 근업의 비율이 적지 않을 것임을 예측할 수 있다. 또한 어두운 환경에서 각기 다른 휘도로 근업을 한 결과, 휘도가 증가할수록 눈 깜빡임 횟수는 증가하고 자각적 선호도는 감소[2]하였으며, Antona 등[5]은 동일한 휘도로 설정된 스마트폰으로 각각의 조도에서 20분간 근업을 한 결과 어두운 조도에서의 총 자각 증상의 점수가 더 높아 밝은 조도보다 좋지 못함을 밝힌 바 있다.

이렇듯 주변 환경의 조도나 디스플레이의 휘도와 안구피로도 간의 개별적 비교 연구는 활발하게 진행되었으나 조도, 작업 거리와 디스플레이의 휘도를 종합적으로 고려한 조건 하에서 시기능에 미치는 영향에 대한 연구는 미미한 실정이다. 이에 본 연구에서는 각기 다른 디스플레이의 휘도 조건에서 근업 거리의 변화와 시기능 간의 상관관계에 대해서 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

본 연구에서는 안질환 및 전신질환이 없는 20대 성인 총 17명을 연구대상(Table 1)으로 하였다. 굴절이상을 가진 대상자는 소프트콘택트렌즈(1-Day Acuvue Moist, Johnson & Johnson)로 교정하였고, 0.75 D 이상의 난시가 있는 경우는 등가구면 처방하였으며 0.8 이상의 양안 완전교정시력을 보인 경우 연구에 참여하도록 하였다.

2. 연구방법

1) 연구조건

어두운 환경(0 Lux)에서 디스플레이의 휘도와 근업 거리 변화가 시기능에 어떠한 영향을 미치는지 비교하기 위해 휘도와 거리를 제외한 실험에 영향을 줄 수 있는 요인들을 모두 통제하였다. 연구에 사용하였던 디지털기기는 스마트폰(iPhone X, Apple Inc., USA)으로 화면크기가 143.6 mm, 해상도는 2436×1125 픽셀이었으며, 디스플레이의 휘도는 흰 배경 기준으로 저휘도 조건에서 3.17±1.42 cd/m^2, 고휘도 조건에서는 423.7±3.65 cd/m^{2}이었다. 근업으로는 암실(0 lux)의 각각 저휘도 및 고휘도 조건에서 33 cm와 50 cm 거리에 따른 'Vincenzo, (2021)' 영상을 시청하도록 하였다. 이 때 영상 구성에 따른 오차를 최소화하기 위하여 동일 구간의 영상을 15분 동안 시청하도록 하였다. 따라서 본 연구에서는 암소시 조건 하에서 2개의 근업 거리와 2개의 디스플레이 휘도 조건으로 구성된 총 4개의 독립된 조건으로 각각 수행되었다.

Table 1. Biometric data of the study participants

		Number or Average
Gender	Male	6
	Female	11
No. of Eyes		34
Age (years)		22.92±1.84
Refractive error (D)	Spherical	−2.45±1.59
	Cylindrical	−0.81±0.59

2) 실험순서

영상 시청의 근업 전 10분 동안 암순응 후 모든 실험은 진행되었으며 영상시청 전후 총 6개 항목의 시기능을 측정하였다. 이때 4개의 작업 조건은 무작위로 결정되었으며, 반복된 근업에 따른 피로를 최소화하기 위하여 총 2일에 나누어 수행하였다.

3) 시기능 검사

디스플레이 휘도와 근업 거리별 영상시청 전후 시기능 변화를 위한 검사는 다음과 같았고 각 검사마다 3번 반복 측정 후 평균을 구하여 측정값으로 사용하였다.

(1) 최대조절력

단안 및 양안의 최대조절력은 조절·폭주근점자를 사용하여 Push-up 방법으로 측정하였다. 단안 최대조절력은 우위안 기준으로 측정되었으며 대상자들이 조절·폭주근점자의 0.7시표를 주시한 상태에서 흐림을 인지한 위치를 조절근점(cm)으로 기록한 후 디옵터(D)로 환산하였다.[6]

(2) 조절래그

33 cm 및 50 cm에 해당하는 조절자극을 유지한 상태로 개방형 자동안굴절력계(NVISION-K 5001, SHIN-NIPPON, JAPAN)를 통해 양안개방 상태에서의 우세안 조절반응량만을 측정하였다. 조절래그 값은 조절자극량과 그에 대한 반응량을 이용하여 계산되었으며, (+)값은 조절래그, (-)값은 조절리드로 분석하였다.[7]

(3) 원 · 근거리 사위도

원거리 사위도의 측정은 3 m에 위치한 원거리용 토링톤 카드(PCARD, Bernell, USA)를 이용하였고, 근거리 사위도 측정은 40 cm 거리에 위치한 토링톤 카드(BC/1209N MIM, Bernell, USA)를 이용하여 수정된 토링톤 방법으로 측정하였다.[8]

(4) 계산 AC/A 비

AC/A비는 주시거리 변화에 따라 PD, 원·근거리 사위도를 이용한 아래 수식의 계산 AC/A비로 결정하였다.[9]

계산 AC/A비 = PD거리+검사거리(m)(근거리사위도-원거리사위도)

(5) 입체시

입체시력은 근거리에서만 측정하였고 시차를 400~20 arc/sec까지 측정할 수 있는 Randot stereo test(Stereo Optical Inc. USA)를 사용하여 편광안경을 착용한 뒤 시선 정면 40 cm 거리에서 검사하였다.[10]

3. 통계처리

모든 연구결과는 3회 반복측정 후 평균±표준편차로 나타내었으며, SPSS(version 23.0 for windows)를 이용하여 통계적 유의성을 판단하였다. 즉, 디스플레이 휘도 별, 근업 거리별 시기능 변화는 paired t-test로 분석하였고, *p*-value가 0.05 미만일 경우 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다.

결과 및 고찰

1. 디스플레이 휘도와 근업 거리에 따른 양안 및 단안 최대조절력의 변화

근업 시 디스플레이의 휘도 조건과 근업 거리에 따른 양안 최대조절력 변화량을 근업 전 대비 근업 후 최대조절력의 증감 정도로 나타내었다. 33 cm 및 50 cm에서의 근업 전 양안 최대조절력 값은 11.54±2.48 D이었으며, 단안 최대조절력 값은 9.56±1.58 D이었다. 저휘도 조건에서 33 cm 및 50 cm 거리에서의 근업 후 양안 최대조절력 변화량은 +2.32±2.84 D 및 +0.81±1.50 D로 나타났으며, 근업 거리에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p=0.028 by paired t-test). 반면, 고휘도 조건에서의 양안 최대조절력 변화량은 동일 거리 순서대로 각각 +1.42±2.20 D 및 +1.07±1.79 D로 나타났으나 근업 거리에 따른 통계적인 유의성은 관찰되지 않았다(Fig. 1). 한편 저휘도 조건에서 근업 후 단안 최대조절력 변화량은 33 cm 및 50 cm 거리에서 각각 +0.91±1.20 D 및 +0.48±0.85 D로 나타났고, 고휘도 조건에서는 동일 거리 순서대로 각각 +1.03±1.46 D 및 +0.48±0.82 D로 나타났으며 근업 거리에 따른 단안 최대조절력의 변화량 차이는 통계적인 유의성을 보이지 않았다.

이렇듯 디스플레이의 휘도 조건에 관계없이 33 cm 거리에서의 근업 후 최대조절력 변화량이 단안 및 양안 모두에서 50 cm 거리 대비 큰 것으로 나타났는데 이는 상대적으로 더 큰 조절요구량으로 인하여 높아진 내안근 긴장도의 측정 결과라 생각되었다. 디스플레이 근업 후 양안 최대조절력의 변화량은 저휘도 조건일 때 근업 거리에 따른 통계적인 유의성(p=0.049 by paired t-test)이 관찰되어 휘도 조건에 영향을 받는 것으로 생각되었던 반면, 단안 최대조절력의 변화량은 근업 거리에 따른 증가도 간에는 차이를 나타내었으나 고휘도와 저휘도 조건 간에는 차이가 없었으므로 디스플레이의 휘도 조건에는 영향을 덜 받는 것으로 생각되었다(Fig. 1).

디스플레이의 휘도 조건에 따라 통계적으로 유의한 변화량의 차이를 보였던 양안 최대조절력의 경우는 단안 최대조절력에 폭주성 조절이 더해졌기 때문[11]에 차이값이 커졌으며, 조도가 감소할수록 동공의 크기는 커지고 측정되는 조절력은 감소하는 것으로 나타난다는 Lee 등[12]의 연구 결과로 그 원인을 예상해 볼 수 있다. 즉, 33 cm 거리의 동일한 조절요구량이라 하더라도 저휘도로 인하여 연구대상자의 동공이 확장되고 조절력의 baseline이 감소되어 고휘도 대비 상대적으로 큰 조절반응량을 필요로 했기 때문에 내안근의 긴장도가 높았던 것으로 생각해 볼 수 있다. 그러나 본 연구에서는 각 휘도 조건 하에서 우위

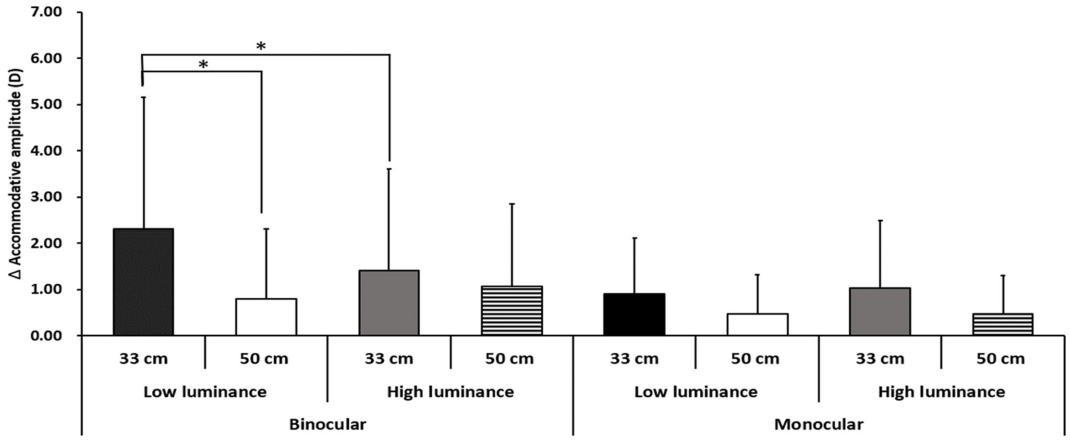

Fig. 1. Differences in accommodative amplitude before and after near work based on the luminance of the display and working distance
*, significant difference at the level of p<0.05

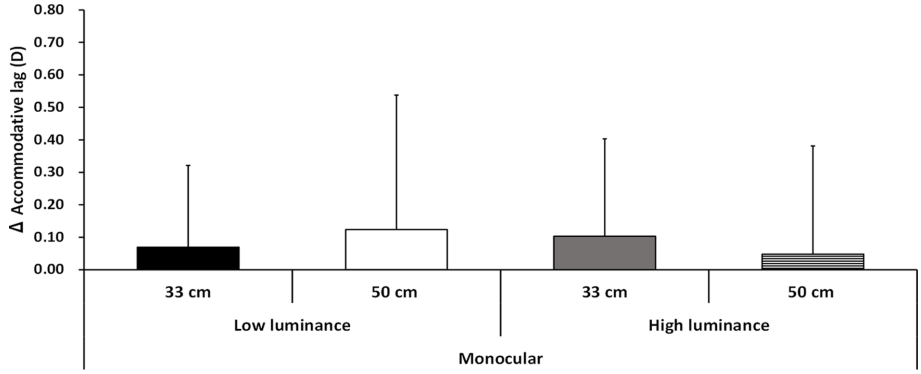

Fig. 2. Differences in monocular accommodative lag before and after near work based on the luminance of the display and working distance.

안의 조절래그만을 측정(Fig. 2)하였을 뿐 동공 크기의 변화나 양안 조절반응량을 직접 측정하지 않았으므로 이를 뒷받침할 추가 연구가 필요하다. 근업 후 최대조절력의 증가는 내안근의 긴장 상태 유지와 유의미한 안구 피로도의 미발생으로 해석될 수 있다.[13,14] 본 연구에서 수행된 근업 시간은 15분으로 길지 않았으므로 근업으로 인한 안구 피로도는 없거나 미미하여 통계적으로 유의한 영향을 미치지 못하였을 것으로 생각되었다. Benetto 등[15]의 연구에 따르면 주변의 조도와 디스플레이의 휘도가 낮을 때 눈깜박임의 횟수가 증가한다고 하였으며 이는 눈물 증발의 속도를 감소시켜 시각적 피로도를 줄이는 데 도움이 된다고 하였다. 본 연구는 낮은 조도의 암실에서 수행되었고, 저휘도 조건 하에서 고휘도 조건 대비 상대적으로 유발된 안구 피로도가 작아 근업 후 양안 최대조절력이 높게 측정되었던 것으로 생각되었다.

2. 디스플레이 휘도 조건과 근업 거리에 따른 단안 조절래그의 변화

디스플레이의 조건에서 근업 후 단안 조절래그 변화량을 근업 전 대비 변화값으로 나타냈었다. 근업 전 33 cm 및 50 cm에서의 조절래그 값은 각각 0.85±0.50 D 및 0.78±0.47 D이었으며, 저휘도 조건에서 33 cm 및 50 cm 거리에서의 단안 조절래그 변화량은 각각 +0.07±0.25 D 및 +0.12±0.41 D로 나타났으며, 고휘도 조건에서는 각각 +0.10±0.30 D 및 +0.05±0.33 D로 나타났다(Fig. 2).

Ha 등[12]은 선행연구에서 40 cm 거리의 근업 자극이 주어졌을 때 상대적으로 저휘도의 비발광체보다 고휘도의 발광체를 활용한 근업 자극에서 조절래그가 크게 측정된다고 하였다. 본 연구에서 사용된 발광체인 디스플레이의 저휘도 조건은 선행 연구에서의 비발광체 휘도보다 낮았는데 저휘도 조건에서 33 cm 거리의 근업 후 측정된 조절래그가 고휘도 조건의 경우보다 작게 측정된 결과는 선행연구 결과와 일치한다. 또한 저휘도 조건에서는 조절력의 baseline이 낮게 측정되므로[11] 동일 조절자극이 주어진다면 조절래그가 작게 측정되며, 근업 후 조절래그 변화량 또한 고휘도 조건 대비 상대적으로 작게 측정될 것이라 예상하였다. 실제로 33 cm 거리의 근업 후 단안 조절래그의 변화량은 저휘도 조건에서 고휘도의 경우보다 작게 나타났으나 통계적 유의성은 관찰되지 않았다. 본 연구에서는 15분간의 영상 시청으로 근업 후 휘도 조건에 관계 없이 우위안의 조절래그가 증가 경향을 보였으므로 조절적응 또는 조절피로가 반영되어 나타난 결과일 가능성을 완전히 배제할 수 없으나 그 증가량이 매우 미미하여 유의미한 안구 피로도는 유발되지 않은 것으로 생각되었다.

조절래그는 조도, 글자 대비, 주시 각도와 같은 시각적 조건[16,17]들에 영향을 받을 뿐만 아니라 동공이나 시표 등의 크기에도 영향을 받는데 그 크기가 커지면 조절래그는 줄어든다.[18] 본 연구에서는 다른 휘도 조건에서 수행된 근업 후 단안 조절래그의 변화가 근업 거리에 따라 일관성 있는 변화를 보여주지 않았는데 이는 휘도 조건 이외에도 다른 시각적 조건과 크기 조건에도 동시에 영향을 받았기 때문인 것으로 생각되었다.

3. 근업 거리 별 휘도에 따른 원·근거리 사위도 및 계산 AC/A의 변화

디스플레이의 조건에서 근업 후 원거리 사위도 변화량을 근업 전 대비 변화값으로 나타냈었다. 근업 전 33 cm 및 50 cm에서의 원거리 사위도는 각각 –0.72±1.99 △ 및 –0.28±2.34 △로 정위 수준 상태임을 알 수 있다. 근업 후 원거리 사위도의 변화는 저휘도 조건에서는 33 cm 및 50 cm 거리에서 각각 +0.73±1.98 △ 및 –0.01±1.93 △로 나타났고, 고휘도 조건에서는 순서대로 각각 +0.37±2.13 △ 및 –0.16±2.08 △로 나타났다(Fig. 3A). 즉, 디스플레이의 휘도 조건에 관계없이 33 cm 거리에서는 근업 후 내사위화의 경향을, 50 cm 거리에서는 근업 후 거의 변화가 없거나 크지 않으나 외사위화의 경향을 보임을 알 수 있었

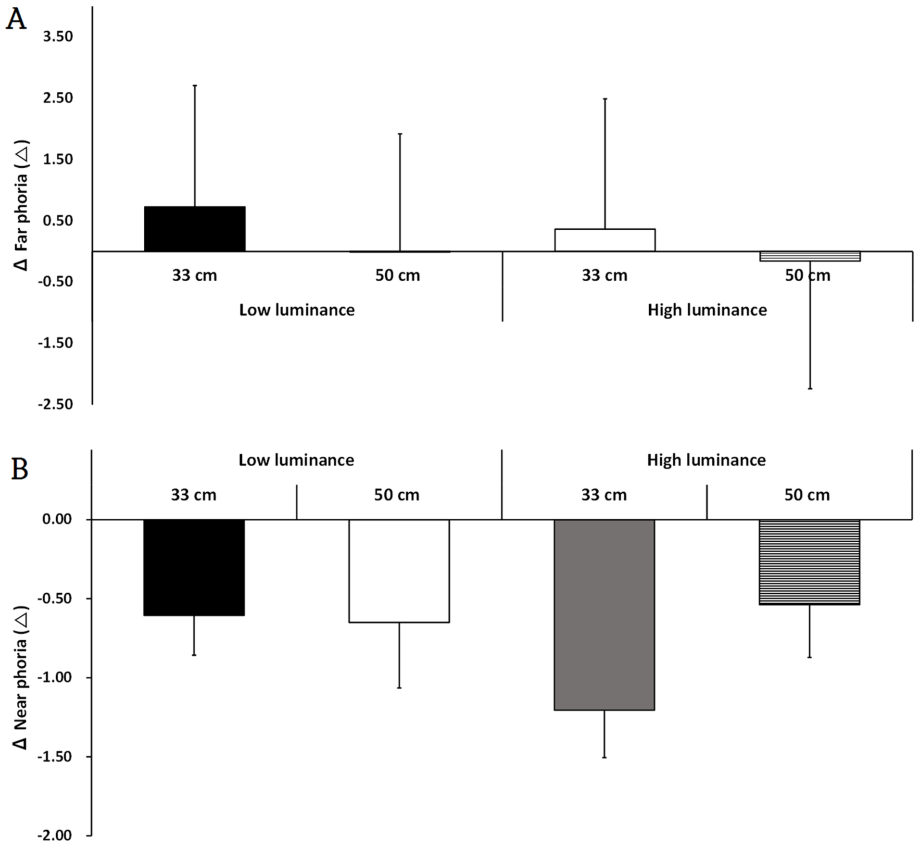

Fig. 3. Differences in phoria before and after near work based on the luminance of the display and working distance.
A. phoria at far distance, B. phoria at near distance

다. 한편 휘도 조건에 따른 근업 후 원거리 사위도 변화 비교 시에는 통계적인 유의성은 관찰되지 않았으나 저휘도 조건 하에서 33 cm에서의 변화는 50 cm에서의 변화보다 0.74 △ 가량 더 크게 나타났으며, 고휘도 조건에서는 33 cm에서의 변화가 50 cm에서의 변화보다 약 0.53 △ 크게 측정되어, 저휘도 조건일 때 내사위화의 경향이 커짐을 알 수 있었다. Wolska 등[19]은 선행 연구에서 LCD Thin Film Transistor Screen으로 근업 시 디스플레이의 휘도가 높을수록 사위도 변화가 증가하는 경향을 띄며, 원거리 사위도 또한 외편위 경향을 보인다고 하였으며, 눈으로 입사하는 빛의 양이 줄어들수록 내편위 경향을 보인다고 하였다. 본 연구에서도 33 cm 거리에서는 선행 연구결과와 일치하는 결과를 나타내었다.

한편 근업 전 33 cm 및 50 cm 거리에서의 근거리 사위도는 각각 –2.83±4.27 △ 및 –2.58±4.29 △이었다. 디스플레이 근업 후 근거리 사위도의 변화는 저휘도 조건에서는 33 cm 및 50 cm 거리에서 각각 –0.61±1.94 △ 및 –0.65±2.33 △, 고휘도 조건에서는 각각 –1.21±2.73 △ 및 –0.54±1.83 △로 나타나 원거리 사위도의 변화와는 달리 모두 근업 후 외사위화의 경향을 보임을 알 수 있었다(Fig. 3B). 휘도에 따른 근거리 사위도 변화 비교 시 저휘도 조건에서는 거리에 따른 차이를 관찰할 수 없었으나 고휘도 조건에서는 33 cm에서의 변화가 50 cm에서의 변화보다 약 –0.70 △ 가량 크게 나타나 고휘도 조건에서는 거리가 감소할수록 근거리 사위도의 외사위화 정도가 커짐을 알 수 있었다. 이러한 결과로부터 근업 시 휘도 조건에 따라 조절과 폭주의 교차결합의 강도가 달라질 것임을 예상할 수 있었다.

근업 전 33 cm 및 50 cm 거리에서의 계산 AC/A비 값은 각각 5.62±1.13 △/D 및 5.19±1.68 △/D이었다. 디스플레이 근업 후 계산 AC/A비 변화는 저휘도 조건에서는 33 cm 및 50 cm거리에서 각각 –0.48±0.86 △/D 및 –0.45 ±1.66 △/D이었고, 고휘도 조건에서는 각각 –1.07±0.97 △/D 및 –0.19±2.91 △/D로 나타났다(Fig. 4).

휘도에 따른 근업 후 계산 AC/A비 변화 비교 시 저휘도 조건에서는 근업 거리에 따른 변화 차이가 크지 않았으나 모두 감소의 경향을 나타내었던 반면, 고휘도 조건에서는 33 cm에서의 변화가 50 cm의 경우보다 약 0.87 △/D 가량 통계적으로도 유의하게 감소(p=0.044)하였다. 따라서 계산 AC/A비 변화 결과로부터 휘도가 높은 조건에서만 근업 거리가 교차결합의 강도에 영향을 미치며, 근업 거리가 짧을수록 교차결합의 강도가 약해짐을 알 수 있었다.

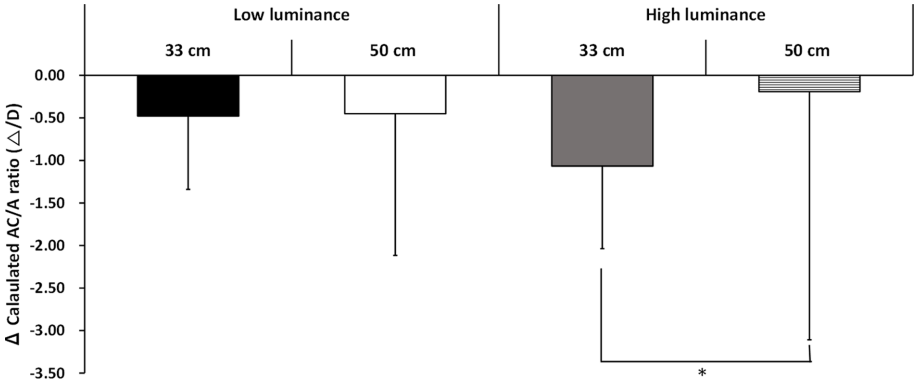

Fig. 4. Differences in the calculated AC/A ratio before and after near work based on the luminance of the display and working distance.
*, significant difference at the level of $p < 0.05$

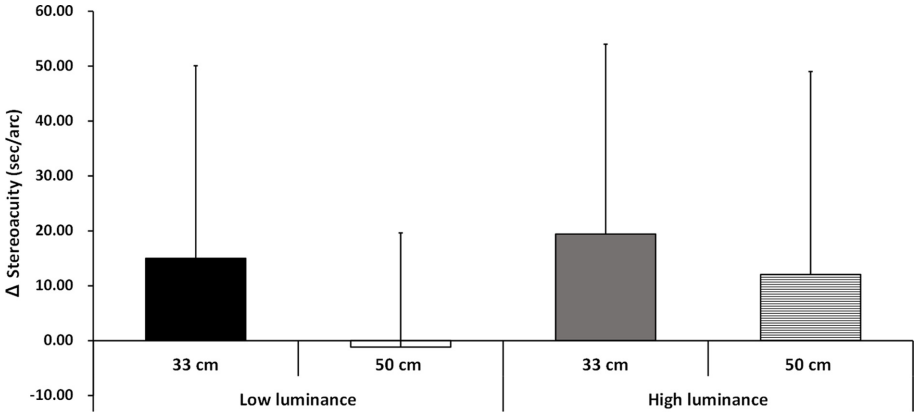

Fig. 5. Differences in stereoacuity before and after near work based on the luminance of the display and working distance.

한편 저휘도 조건에서는 고휘도 조건의 경우와는 반대로 통계적인 유의성은 없었으나 근업 거리에 따른 계산 AC/A비의 변화 차이가 크지 않았는데 이의 원인으로는 본 연구에서 설정한 저휘도 조건을 생각해 볼 수 있다. 즉, 권장 조도 하에서의 근업이라면 거리가 짧을수록 조절요구량이 커지며, 조절반응량 또한 커지게 되는데 본 연구에서의 저휘도 조건은 영상의 색상 식별이 어려울 정도로 낮았기 때문에 근업 거리가 길어지게 되면 조도가 상대적으로 낮아지게 되므로 영상시청을 위한 수의적 조절이 좀 더 개입되었을 가능성을 배제할 수 없다.

4. 근업 거리 별 휘도에 따른 입체시 변화 비교

디스플레이의 조건에서 근업 후 입체시 변화량을 근업 전 대비 변화값으로 나타냈었다. 근업 전 33 cm 및 50 cm 거리에서 입체시는 각각 50.29±31.34초 및 52.94±23.05초로 나타났으며, 디스플레이의 저휘도 조건에서 근업 후 양안 입체시 변화는 33 cm 및 50 cm에서 각각 +15.00±35.09초 및 –1.18±20.81초로 측정되었고, 고휘도 조건에서는 각각 +19.41±34.59초 및 +12.06±36.96초로 나타났다.

디스플레이 휘도 조건에 따른 입체시 변화 비교 시 저휘도 조건 하의 50 cm에서는 큰 변화는 아니었으나 입체시의 증가를, 33 cm에서는 입체시의 감소가 큰 경향을 나타내었던 반면, 고휘도 조건에서도 33 cm에서의 변화가 50 cm의 경우보다 약 7초 크게 측정되어 입체시가 더 크게 감소함을 알 수 있었다. 즉, 각 휘도에서 모두 근업 거리가 가까울수록 근업 후 입체시의 감소가 커짐을 알 수 있었으며, 그 정도는 고휘도 조건일 때 저휘도 조건 대비 더 커졌으므로 고휘도 조건 하에서의 근업이 더 큰 입체시의 저하를 유발함을 확인할 수 있었다.

입체시력은 주시거리의 제곱값에 반비례하므로 주시거리가 짧을수록 큰 값을 가지게 되며 원근의 판별감, 즉 입체감이 좋지 않게 되는데[20] 본 연구에서도 통계적 유의성은 관찰되지 않았으나 디스플레이의 휘도 조건에 관계없이 50 cm 대비 33 cm에서의 입체시 변화가 더 크게 나타났다. Shim 등[21]은 선행 연구에서 내사위에서 근거리 입체시가 낮다고 보고한 바 있는데 본 연구 결과, 휘도 조건에 관계없이 근업 거리가 감소할수록 근거리 내사위화의 경향을 나타내었으므로 이 또한 입체시 감소에 영향을 미쳤을 것이라 생각할 수 있다.

한편 Chang 등[22]은 망막에 도달하는 빛의 양이 감소할

수록 입체시가 저하되는 양상을 보이며, 시력 및 융합력과 같은 시기능보다 입체시가 가장 먼저 저하된다고 하였다. 그러나 본 연구 결과에서 나타난 디스플레이의 휘도 조건에 따른 근업 후 입체시 변화 양상은 선행 연구결과와는 달랐는데 이는 근업의 수행 여부와 ND(neutral density) 필터를 사용하여 빛의 투과율을 조정한 망막으로의 입사광량의 차이에 따른 것으로 생각되었다.

결 론

본 연구에서는 디지털기기를 활용한 근업 시 디스플레이의 휘도 및 거리 조건이 시기능에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보고자 하였다. 양안 최대조절력의 경우 33 cm 거리에서는 고휘도 대비 저휘도 조건에서의 변화가 컸으며, 50 cm 거리에서는 고휘도 대비 저휘도 조건에서 변화폭이 작은 경향을 나타내었다. 단안 최대조절력의 경우 모든 조건에서 통계적 유의성은 관찰되지 않았으나 휘도가 낮을수록 변화폭이 작게 관찰되었다. 또한 근거리 사위도의 경우 33 cm 거리에서 고휘도 대비 저휘도 조건에서 변화폭이 작은 경향을 나타내었으며, 50 cm 거리에서는 휘도 간 차이는 존재하지 않았다. 계산 AC/A비는 33 cm 거리에서 고휘도 조건 대비 저휘도 조건에서 작은 변화의 경향을 나타내었고, 저휘도 조건에서는 근업 거리 간 차이가 관찰되지 않았으므로 교차결합의 강도는 거리보다는 디스플레이의 휘도 조건에 더 큰 영향을 받는 것으로 생각되었고, 입체시의 경우 거리 조건에 관계없이 휘도가 낮을수록 입체시 변화폭이 작은 경향을 나타내었다. 그러나 본 연구는 통계적으로 유의한 시기능의 변화를 유발하기에 다소 짧은 근업 시간으로 수행되었고, 근업 시간이 증가한다면 휘도에 따른 시기능의 차이가 달라질 수도 있다는 한계점을 가진다. 양안 최대조절력의 통계적으로 유의성 있는 변화를 통하여 조절성 폭주의 영향을 예측해 볼 수 있으나 이와 관련된 양안시기능 검사가 수행되지 않았고, 디스플레이 휘도에 따른 동공의 변화를 측정하지 않아 이의 영향 또한 고려되지 않았다는 점에서 한계를 가진다.

그러나 본 연구 결과를 통하여 암소시 상태에서 디지털기기 사용 시에는 사용자의 자각적 만족도 및 시기능 변화의 최소화를 고려하여 저휘도의 디스플레이를 50 cm 거리를 유지한 채 사용할 것을 제안할 수 있겠다.

참고문헌

[1] Liu Y, Luo MR. Effects of display and ambient illuminance on visual comfort for reading on a mobile device. Color Imaging Conference. 2021;29:42-46. DOI: https://doi.org/10.2352/issn.2169-2629.2021.29.42

[2] Na N, Jang J, Suk HJ. Dynamics of backlight luminance for using smartphone in dark environment. Human Vision Electronic Imaging. 2014;9014:102-107. DOI: https://doi.org/10.1117/12.2038842

[3] Ma TY, Lin CY, Hsu SW, et al. Automatic brightness control of the handheld device display with low illumination. 2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering. 2012;2:382-385. DOI: https://doi.org/10.1109/CSAE.2012.6272797

[4] Philips. Wake up call: global sleep satisfaction trends, 2020. https://www.philips.com/c-dam/b2c/master/experience/smartsleep/world-sleep-day/2020/2020-world-sleep-day-report.pdf(8 February 2024).

[5] Antona B, Barrio AR, Gasco A, et al. Symptoms associated with reading from a smartphone in conditions of light and dark. Appl Ergon. 2018;68:12-17. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.10.014

[6] Wolffsohn JS, Sheppard AL, Vakani S, et al. Accommodative amplitude required for sustained near work. Ophthalmic Physiol Opt. 2011;31(5):480-486. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2011.00847.x

[7] Ryu DK. Comparison of clinical techniques to assess objectively accommodative response. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. 2010;11(9):3406-3411. DOI: https://doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.9.3406

[8] Sreenivasan V, Irving EL, Bobier WR. Effect of heterophoria type and myopia on accommodative and vergence responses during sustained near activity in children. Vision Res. 2012;57:9-17. DOI: https://doi.org/10.1016/j.visres.2012.01.011

[9] Han GA, Sung AY. Study on proximal convergence/accommodation(PC/A) ratio by comparison of gradient AC/A ratio and calculated AC/A ratio. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2004;9(2):223-231.

[10] Antona B, Barrio A, Sanchez I, et al. Intraexaminer repeatability and agreement in stereoacuity measurements made in young adults. Int J Ophthalmol. 2015;8(2):374-381. DOI: https://doi.org/10.3980/j.issn.2222-3959.2015.02.29

[11] Ha NR, Jung SA, Kim HJ. The comparison of accommodative response and accommodative lag among different luminance of near visual media. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2018;23(4):407-414. DOI: https://doi.org/10.14479/jkoos.2018.23.4.407

[12] Lee CW, Jeong KI, Cho NR, et al. Research on the influence of the accommodative power and the phoria from correlated color temperature and illuminance of LED lighting. Korean J Vis Sci. 2012;14(4):363-372.

[13] Fisher RF. The force of contraction of the human ciliary muscle during accommodation. J Physiol. 1997;270(1):51-74. DOI: https://doi.org/10.1113/jphysiol.1977.sp011938

[14] Tosha C, Borsting E, Ridder WH, et al. Accommodation response and visual discomfort. Ophthalmic Physiol Opt. 2009;29(6):625-633. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1475-

1313.2009.00687.x
[15] Benedetto S, Carbone A, Drai-Zerbib V, et al. Effects of luminance and illuminance on visual fatigue and arousal during digital reading. Comput Hum Behav. 2014;41:112–119. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.09.023
[16] Heath GG. The influence of visual acuity on accommodative responses of the eye. Optom Vis Sci. 1956;33(10):513-524. DOI: https://doi.org/10.1097/00006324-195610000-00001
[17] Lee HJ, Kim JH. A study on the changes of accommodative function in respect to the viewing angle. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2009;14(2):9-14.
[18] Sung PJ. Optometry, 9th Ed. Seoul: Hyunmoonsa, 2018;162.
[19] Wolska A. Świtała M. Luminance of the surround and visual fatigue of VDT operators. Int J Occup Saf Ergon. 1999;5(4): 553-580. DOI: https://doi.org/10.1080/10803548.1999.11076438
[20] Schor CM, Flom MC. The relative value of stereopsis as a function of viewing distance. Optom Vis Sci. 1969; 46(11):805-809. DOI: https://doi.org/10.1097/00006324-196911000-00001
[21] Shim HS, Kim SH, Kim YC. Correlation of near stereoacuity and phoria, and refractive error. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2015;20(1):67-73. DOI: https://doi.org/10.14479/jkoos.2015.20.1.67
[22] Chang YH, Lee JB, Kim NS, et al. The effects of interocular differences in retinal illuminance on vision and binocularity. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2006;244:1083-1088. DOI: https://doi.org/10.1007/s00417-005-0196-z

어두운 조건에서 디지털기기 사용 시 거리와 휘도에 따른 20대 성인의 시기능 변화

정승원[1], 서민경[1], 박미정[2], 김소라[2,*]
[1]서울과학기술대학교 안경광학과, 학생, 서울 01811
[2]서울과학기술대학교 안경광학과, 교수, 서울 01811
투고일(2024년 8월 5일), 수정일(2024년 8월 20일), 게재확정일(2024년 8월 30일)

목적: 본 연구에서는 어두운 환경에서 디지털기기의 사용 시 디스플레이의 휘도 조건과 주시 거리에 따라 시기능에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. **방법:** 20대 성인 17명을 대상으로 어두운 조도(0 lux)에서 각각 저휘도(3.17±1.42 cd/m^2)와 고휘도(423.7±3.65 cd/m^2)의 디스플레이 조건으로 33 cm 및 50 cm 거리에서 근업으로 15분 간의 영상시청을 수행하도록 하였다. 디지털기기 사용 전후 조건에 따른 시기능 변화를 알아보기 위하여 최대조절력, 조절래그, 원·근거리 사위도, 계산 AC/A비 및 입체시를 측정하고 비교하였다. **결과:** 저휘도 조건에서 33 cm 거리의 근업 시 양안 최대조절력 변화는 고휘도 조건 대비 통계적으로 유의한 증가를 나타내었으며, 저휘도 조건 하에서 거리에 따른 변화는 짧은 거리인 33 cm에서 근업 시에서만 통계적인 유의성이 관찰되었다. 한편 조절래그 변화는 휘도 조건이나 거리에 따른 일관적인 변화 양상을 관찰하기 어려웠다. 원거리 사위도의 경우 근업 거리가 가까울수록 내사위화되는 경향을 보였으며, 휘도는 높아질수록 외사위화되는 경향을 나타내었다. 근거리 사위도의 경우는 33 cm의 근업 시 고휘도 조건 대비 저휘도 조건에서 상대적으로 내사위화의 경향을 나타내었고, 계산 AC/A비 변화는 33 cm 거리에서 저휘도 대비 고휘도 조건에서 더 큰 감소의 경향을 보였으며, 고휘도 조건에서 계산 AC/A비 감소는 33 cm에서만 통계적인 유의성이 관찰되었다. 어두운 환경에서 근업 후 입체시는 디스플레이의 휘도 조건에 관계없이 근업 거리가 가까울수록 감소가 커졌으며, 그 정도는 고휘도 조건일 때 저휘도 조건 대비 더 컸다. **결론:** 본 연구 결과, 어두운 환경인 암소시 조건에서 디지털기기 사용 시 고휘도보다는 저휘도 조건의 디스플레이에서 시기능과 교차결합 강도의 변화가 크지 않고, 저휘도 조건에서 50 cm 근업 시 입체시 저하가 적은 양상을 보임을 알 수 있었다. 따라서 어두운 환경에서 디지털기기 사용 시 적은 시기능 변화와 피로도 저하를 위하여서는 저휘도의 디스플레이와 50 cm 정도의 거리 유지를 제안할 수 있겠다.

주제어: 어두운 조건, 디스플레이 휘도, 시기능, 근업 거리