

Changes in the Subjective Symptoms and Accommodative Function after Near Work in a Virtual Moving Environment

Jihye Kim¹, Won Young Jung¹, Minjin Jeong¹, Kyeong Chul Lee¹, Han Wool Won¹, Seong Do Kim¹, Mijung Park², and So Ra Kim^{2,*}

¹Dept. of Optometry, Seoul National University of Science and Technology, Student, Seoul 01811, Korea

²Dept. of Optometry, Seoul National University of Science and Technology, Professor, Seoul 01811, Korea

(Received August 25, 2019; Revised September 16, 2019; Accepted September 18, 2019)

Purpose: The purpose of this study was to investigate changes in the subjective symptoms and accommodative function after watching a movie in a virtual environment moving in the vertical direction. **Methods:** Refractive errors of 19 men and 31 women in their 20s were corrected using contact lenses, and the subjects were asked to watch a video on a smartpad with repeated movements in the vertical direction for 30 min. The subjects' accommodative responses were measured every 5 min using an open-field autorefractor while watching a video, and the changing pattern was further analyzed using the subjective symptom scores and accommodative facility before and after watching the movie. **Results:** The subjective symptom score of both general and ocular symptoms significantly increased after watching a movie in a virtual moving environment on a smartpad; however, the monocular or binocular accommodative facilities did not significantly change. While watching the video, the accommodative response repeatedly decreased and increased for 30 min in the dominant eye and tended to be maintained after decreasing in the non-dominant eye. In cases of severe ametropia, there was a tendency of repeated decrease and increase in the accommodative response in the non-dominant eye. There was a statistically significant correlation between the binocular accommodative facility and the change in subjective symptoms; however, there was no correlation between the accommodative response and the subjective symptoms. **Conclusions:** These results suggest that changes in the subjective symptoms during near work in a virtual environment moving in the vertical direction may not significantly correlate with the accommodative function.

Key words: Accommodative facility, Accommodative response, Dynamic environment, Near work, Subjective symptoms, Virtual environment

서 론

2019년 2월 기준 전 세계적으로 사용되는 휴대폰은 약 50억 대로 추정되고 있으며, 이 중 스마트폰이 절반 정도를 차지하고 있다.^[1] 2018년 미국 시장조사기관인 Pew Research가 세계 27개 국가를 대상으로 실시한 조사에서 우리나라의 휴대전화 보급률은 100%에 이르는 것으로 나타났으며, 스마트폰 사용자가 이 중 95%를 차지하여 스마트폰 사용률이 1위로 나타났다.^[1] 실제 2018년 기준으로 우리나라 국토교통부에서 실시한 수도권 대중교통 이용실태 분석 결과, 대중교통 이용자는 수도권에서 6,777만 명인 것으로 나타났는데^[2] 이는 2019년 5월 기준 수도권 인구가 2,600만 명의 2.5배가 넘는 수에 해당된다.^[3] 대중

교통 이용 중 흔들림이 있는 버스, 지하철 등에서 스마트폰을 포함한 휴대용 스마트기기를 이용한다면 이는 움직이는 화면을 보는 것과 유사하게 동적인 근거리 작업의 수행이 된다. 그러나 스마트기기를 사용한 근거리 작업에 따른 변화에 대한 선행연구는 주로 화면이 정지되어 있는 정적인 환경에서 수행되었다. 즉, 스마트폰을 이용한 정적인 근거리 작업을 할 경우 사위도와 양성융합버전스가 감소하고, 동일한 근거리 작업을 하더라도 작업 매체의 종류에 따라 차이가 존재하는 것으로 보고^[4]된 바 있으며, 또 다른 선행연구에서는 스마트폰으로 지속적인 근거리 작업을 수행하게 되면 정상안에 비해 폭주부족안이 피로감과 관련된 안정피로가 높을 것으로 보고^[5]된 바 있다. 또한 스마트패드를 이용한 정적인 환경에서 e-book을 읽은 후

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

본 논문의 일부내용은 2017년도 대한시과학회·한국안광학회 공동학술대회에서 포스터로 발표되었음.

에는 인쇄매체인 종이책을 읽은 후보다 자각증상 점수가 높게 나타났으며, 집중도의 저하가 보고된 바 있으며, 우위안보다 비우위안에서 최대조절력 감소폭이 더 크고, 양안 조절용이성이 감소하는 것으로 나타났다.¹⁶⁾ 기 이렇듯 스마트기기를 활용한 연구는 주로 정적인 환경에서 수행되었으며 동적인 환경에서의 스마트기기를 사용한 근거리 작업에 대한 연구는 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 근거리에서 움직이는 스마트기기의 화면을 볼 때 느끼는 자각증상을 설문을 통해 조사하고, 동적환경에서 근거리 작업 전후의 조절기능의 변화를 측정하고자 하였다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상

안과적 질환이나 굴절교정 수술을 받은 경험이 없으며 본 연구의 취지에 동의한 만 18~27세 남녀 50명(남자 19명, 여자 31명, 평균나이 25.18±2.40세)을 대상으로 하였다. 교정시력이 0.8 미만인 사람은 제외하였고, 외안부와 각막의 상태를 검사한 후 콘택트렌즈 착용에 문제가 없는 대상자를 등가구면 굴절력을 기준으로 제조사의 처방 가이드라인에 따라 소프트 콘택트렌즈(1-day acuvue, ACUVUE, USA)로 교정한 후 10분 간 안정화 시간을 가진 후에 본 실험을 진행하였다. 또한 대상자의 우위안을 기준으로 처방 등가구면 굴절력이 0 D 이상 -3.00 D 이하인 경우를 경도 비정시군으로, -3.00 D 초과 -6.00 D 이하일 경우는 중도 비정시군, -6.00 D 초과일 경우 고도 비정시군으로 분류하였다.

2. 연구방법

1) 조도

근거리 작업을 위한 실내조도 설정을 위해 지하철 2, 7호선의 입석, 좌석 및 탑승구와 환승구 상황의 조도를 위치에 따라 3번씩 측정하였다. 이에 따라 실험실 내부의 조도를 측정된 데이터를 근거로 200 lux로 조절하였다.

2) 실험 기기

본 연구에서는 연구대상자의 시력검사 및 교정을 위해 개방형 자동굴절력계(NVision-K 5001, Shin-Nippon, Japan)과 근거리 시표(Phoropter replacement card, Hahn-medical, Korea), 포롭터(PDR-7000, POTEK, Korea)를 사용하였으며, 디스플레이로는 스마트패드(Samsung Galaxy Tab 7.0 SHW-M180W WIFI model, Samsung, Korea)를 사용하였다. 디스플레이가 움직이는 환경을 만들기 위해 왕복식 진탕기(CR-300, FINEPCR, Korea)를 이용하였다.

3) 동적인 근거리 작업 환경

대중교통 이용 또는 도보와 같은 동적인 상태에서의 근거리 작업 환경을 구현하고자 스마트패드를 왕복식 진탕기 위에 올려놓고 동체시력과 관련된 선행 연구¹⁸⁻¹⁰⁾를 참고하여 40 rpm(240 deg/sec)의 속도로 진탕기가 상하로 움직이도록 하였다. 이 때 디스플레이의 초고 및 최저위치는 대상자의 눈높이에서 상하 26도의 간격이 유지되도록 하였다.

4) 영상 시청 조건

연구대상자들은 나안 또는 교정시력이 0.8 이상이 되도록 등가구면 굴절력으로 환산하여 처방한 소프트콘택트렌즈를 착용하고 30분의 안정화시간을 가지게 한 후 30분간 스마트패드를 통해 트랜스포머 1(Transformers 1, 2007) 자막이 없는 더빙판을 시청하도록 하였다.

연구대상자와 스마트패드 디스플레이와의 수평 거리는 40.00 cm(2.50 D 조절자극)로 설정하였으며, 디스플레이가 왕복식 진탕기에서 최고로 올라갔을 때 대상자와의 거리는 41.7 cm(2.40 D 조절자극), 최저로 내려갔을 때 거리는 39.5 cm(2.53 D의 조절자극)이었다.

5) 자각증상 평가

Virtual reality symptom questionnaire 설문지를 통해 30분 동안의 움직이는 디스플레이를 이용한 영상시청 전후의 전신증상과 눈 관련 증상을 측정하였으며, 영상시청 전후 증상의 차이를 분석하였다.¹¹⁾

6) 조절기능 평가

연구대상자의 조절반응량은 개방형 자동굴절력계(NVision-K 5001, Shin-Nippon, Japan)를 이용하여 40 cm 거리에서 영상시청 전에 측정하였고, 영상시청 동안의 조절반응량을 매 5분마다 동일거리에서 측정하여 시청 전 조절반응량과의 차이를 알아보았다. 조절용이성은 근거리 시표를 40 cm 거리에 위치시키고 0.7시표를 주시시킨 후 ±2.00 D flipper를 사용하여 대상자들의 양안 및 단안 조절용이성을 측정하였다. 즉, +2.00 D 렌즈를 눈앞에 위치시키고 시표가 선명하게 보이면 -2.00 D 위치로 반전시켜 선명하게 보였을 때를 1회로 간주하여 1분 동안의 반전시킨 횟수를 측정하였으며, 영상시청 전후 총 2회 실시하였다.

3. 통계처리

실험 결과는 모두 평균±표준편차로 표기하였으며, 연구대상자의 자각증상과 조절기능의 변화는 IBM SPSS Statistics 23을 이용하여 분석하였다. 비정시 정도에 따른 자각증상 점수 변화는 Kruskal-Wallis H test와 Mann-Whitney U test로 분석하였다. 동적인 환경에서의 영상시청 전후 자각증상

변화와 조절용이성은 paired t-test와 Wilcoxon signed-rank test로 분석하였으며, 조절반응량은 repeated measure ANOVA와 Friedman test를 통해 실시한 후 사후검정은 paired t-test와 Wilcoxon signed-rank test로 실시하였다. 조절기능과 자각증상 간의 상관성은 linear regression analysis를 통하여 분석하였다. 모든 값은 95%의 신뢰구간으로 $p < 0.05$ 일 때 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다.

결과 및 고찰

1. 가상 이동환경에서의 근거리 작업에 따른 자각증상의 변화

1) 전신 및 눈 증상의 상관관계와 항목별 비교

가상 이동환경에서 스마트패드를 이용한 영상시청 전 대상자의 전신증상 및 눈 관련 증상 총점은 각각 5.00 ± 4.54 점 및 2.60 ± 2.58 점이었으나, 30분 동안의 동적환경에서 영상시청 후 총점은 각각 12.64 ± 8.82 점 및 8.28 ± 5.87 점으로 측정되어 전신 및 눈 증상 모두 통계적으로 유의하게 증가함을 알 수 있었다(paired t-test, $p = 0.000$)(Fig. 1).

이에 동적환경인 가상 이동환경에서의 영상시청 전후 전신 및 눈 관련 증상의 점수 변화를 세부 항목별로 비교하였다(Fig. 2A). 전신 증상의 총 8가지 항목 모두 통계적으로 유의하게 증상이 증가하는 것으로 나타났다. 그 중 동적환경에서의 영상가장 큰 변화를 보인 항목은 피로감과 졸음으로 각각 1.38 ± 1.19 점 및 1.24 ± 1.13 점에서 2.74 ± 1.58 점 및 2.48 ± 1.67 점으로 증가한 것으로 나타났다. 전신 증상과 마찬가지로 눈 관련 증상의 5가지 항목 모두 통계적으로 유의하게 증상이 증가하는 것으로 나타났고, 피로감 항목이 1.24 ± 1.20 점에서 2.90 ± 1.46 점으로 약 1.66점 증가하여 가장 큰 변화를 나타내었으며, 다음으로 초점 조절 어려움, 눈의 따가움 순으로 증상이 증가하였다(paired t-test, $p < 0.05$).

2) 우위안의 교정굴절력에 따른 자각증상 점수 변화

연구대상자 우위안의 교정 콘택트렌즈 굴절력을 기준으로 경도, 중도 및 고도 비정시군으로 분류하여 가상 이동 환경에서의 근거리 영상시청에 따른 자각증상 점수의 변화를 전신증상과 눈 관련증상으로 나누어 분석하였다. 동적환경의 영상시청 전후 전신증상과 눈 관련증상 총점은 경도 비정시군에서는 각각 5.19 ± 4.80 점 및 1.81 ± 1.81 점에서 11.95 ± 8.27 점(약 6.76점 증가) 및 7.19 ± 4.51 점으로(약 5.38점 증가), 중도 비정시군에서는 각각 4.46 ± 3.64 점 및 3.25 ± 2.82 점에서 12.50 ± 8.55 점(약 8.04점 증가) 및 8.67 ± 6.40 점으로(약 5.42점 증가), 고도 비정시군에서는 각각 6.80 ± 7.46 점 및 2.80 ± 3.70 점에서 16.20 ± 13.14 점(약 9.40점 증가) 및 11.00 ± 8.31 점(약 8.20점 증가)으로 증가하였으며 각 비정시군의 영상시청 전후 자각증상 총점의 차이는 통계적으로도 유의하였다(Wilcoxon signed-rank test, $p < 0.05$)(Fig. 1). 비정시 정도가 높을수록 전신 및 눈 관련 증상의 자각증상 점수가 더 높게 증가하는 경향을 나타내었으나 비정시군 사이의 영상시청 전후 자각증상 총점의 차이는 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

한편 각 비정시군에서 자각증상 항목별 점수 변화에서는 경도 및 중도 비정시군은 영상시청 후 메스꺼움을 제외한 나머지 모든 항목에서 통계적으로 유의하게 증상이 증가하였다. 전신증상의 경우 경도 비정시군에서는 졸림, 어지러움 순으로 변화 정도가 나타났으며, 중도 비정시군에서는 피로감, 졸림, 지루함 순으로 증상의 변화가 나타났다. 눈 관련 증상의 경우 경도와 중도 비정시군 모두 눈의 피로와 초점 조절 어려움 항목에서 큰 변화가 나타났다. 반면 고도 비정시군은 전신증상 중에서는 피로감 항목, 눈 관련 증상 중에서는 초점 조절 어려움 항목만 통계적으로 유의하게 증상이 증가한 것으로 나타났다. 이는 자각증상 항목의 점수변화는 고도 비정시군에서 가장 높았지

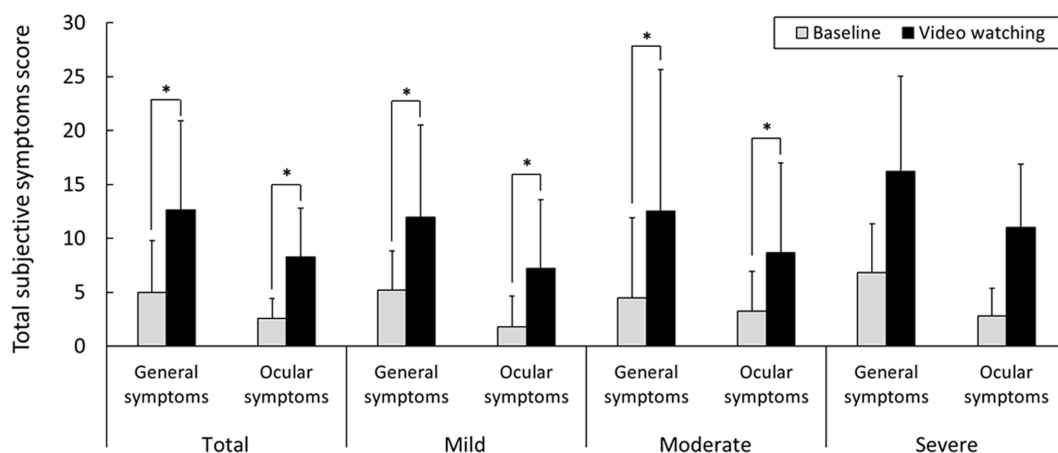


Fig. 1. Change in the total subjective symptom score after watching a movie on a moving smartpad based on the degree of ametropia. * $p < 0.05$, significantly different from the baseline in the Wilcoxon signed-rank test

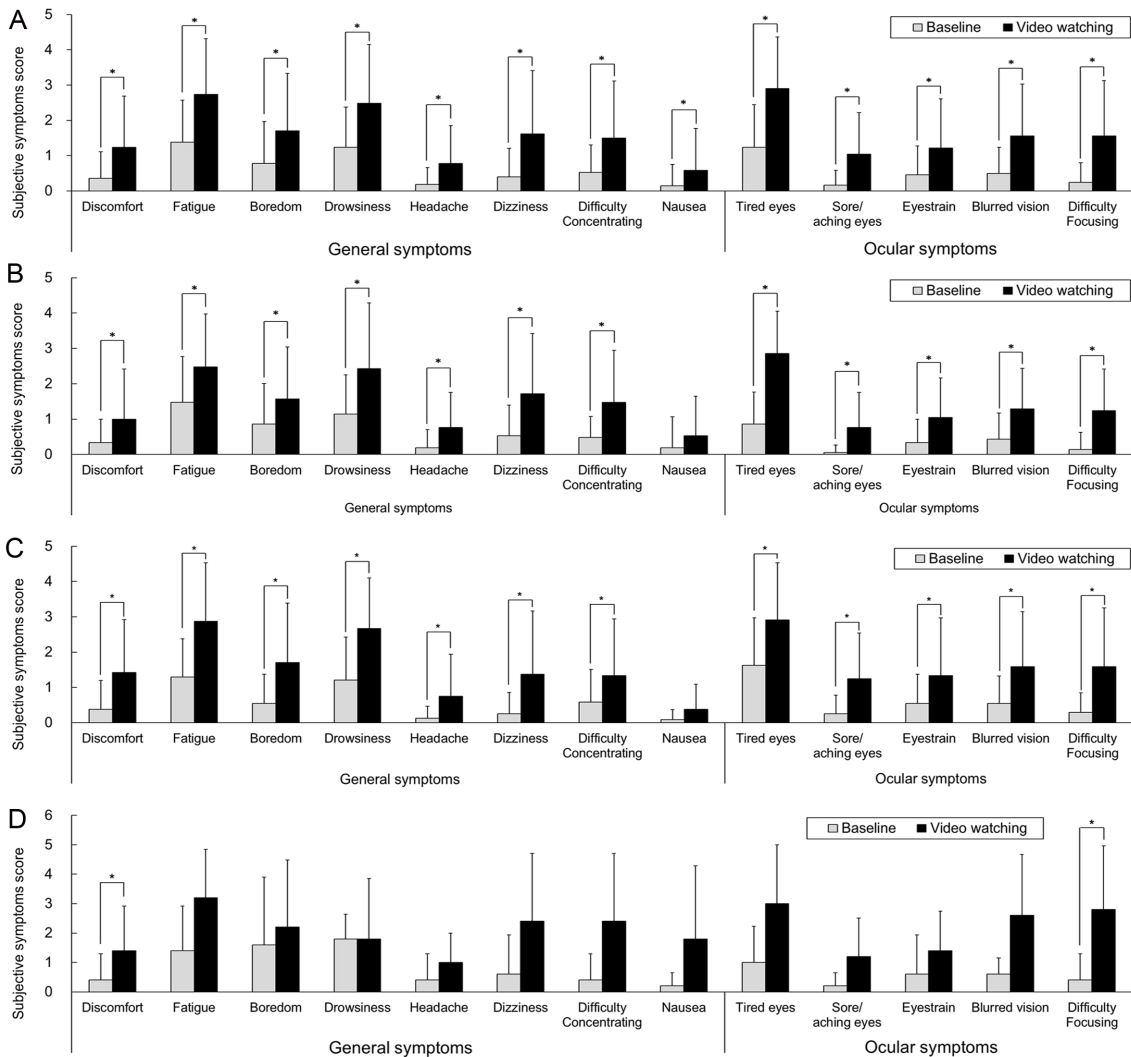


Fig. 2. Changes in all subjective symptom scores after watching a movie on a moving smartpad based on the degree of ametropia. A. Total, B. Mild, C. Moderate, D. Severe *p<0.05, significantly different from the baseline by the Wilcoxon signed-rank test

만 고도 비정시안 5명 중 2명은 증상의 변화가 없었으나 3명은 증상이 증가하여 나타난 결과로 생각된다(Wilcoxon signed-rank test, p<0.05)(Fig. 2).

2. 가상 이동환경에서의 근거리 작업에 따른 조절기능의 변화

1) 단안 및 양안 조절용이성

가상 이동환경에서의 영상시청 후, 연구대상자의 우위안, 비우위안 및 양안 조절용이성은 모두 증가하는 경향을 나타내었으나 통계적으로 유의한 변화는 아니었다(Fig. 3). 그러나 영상시청 전후 조절용이성의 변화를 연구대상자 우위안의 비정시 정도에 따라 분석한 결과, 중도 비정시안의 우위안의 조절용이성이 영상시청 후 통계적으로 유의하게 증가하는 것으로 나타났다(Wilcoxon signed-rank test, p<0.05)(Table 1). 영상시청 전의 조절용이성을 우위안의

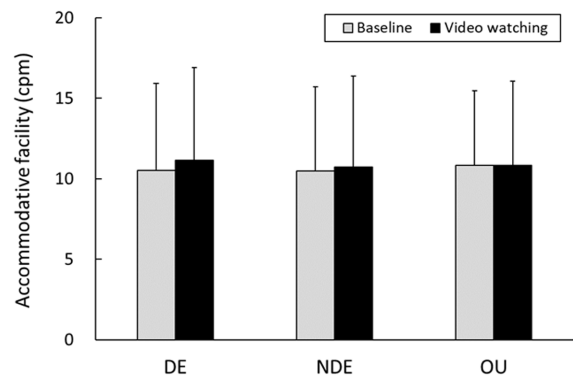


Fig. 3. Change in the accommodative facility after watching a movie on a smartpad. DE: dominant eye, NDE: non-dominant eye, OU: oculus uterque

비정시 정도에 따라 분석하였을 때에는 우위안, 비우위안 및 양안 간의 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 동적환경

Table 1. Change in the accommodative facility after watching a movie on a smartpad based on the degree of ametropia

Ametropic degree		Baseline	Video watching	P-value
DE	Mild	9.86±6.46	9.71±6.86	0.912
	Moderate	10.92±4.72	11.92±4.86	0.018 [#]
	Severe	11.40±3.91	11.40±3.71	0.063
	P-value	0.573	0.046 [*]	-
NDE	Mild	9.76±5.93	9.67±6.40	0.792
	Moderate	10.88±4.99	11.58±5.12	0.160
	Severe	11.60±3.13	11.20±4.92	1.000
	P-value	0.414	0.325	-
OU	Mild	10.24±4.57	9.86±5.17	0.840
	Moderate	11.50±4.85	11.96±5.33	0.481
	Severe	10.00±4.18	9.60±4.56	0.414
	P-value	0.648	0.359	-

*p<0.05, significantly different according to the ametropic degree by Friedman test

[#]p<0.05, significantly different from the baseline by the Wilcoxon signed-rank test

의 영상시청 후 우위안의 조절용이성에서는 비정시 정도에 따라 통계적으로 유의한 차이가 관찰되었고, 경도 비정시안 대비 중도 비정시안의 조절용이성이 약 2.12 cpm 높게 통계적으로 유의하게 증가하였다(Mann-Whitney U test, p<0.05)(Table 1). 즉, 우위안에서만 비정시 정도에 따라 조절용이성의 변화에 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

단안 조절용이성의 변화 양상 분석 시, 우위안의 경우 조절용이성의 감소, 유지 및 증가의 변화를 보인 대상자는 각각 16명(32%), 7명(14%), 및 27명(54%)으로 나타났으며, 비우위안은 감소 15명(30%), 유지 14명(28%), 및 증가 21명(42%)으로 나타나 지속적으로 조절자극이 변할 때 우위안과 비우위안 모두 조절용이성 감소보다 유지되거나 증가하는 경우가 더 많아 조절기능이 유지되거나 증가하는 경우가 많음을 알 수 있었다. 양안의 조절용이성 변화 양상은 감소 22명(44%), 유지는 5명(10%), 증가는 23명(46%)으로 감소한 인원과 증가한 인원의 수는 비슷하게 분포하여 조절 이외에 폭주기능의 변화가 다양하게 나타남을 예측해 볼 수 있었다.

2) 영상 시청 중 조절반응량의 변화

가상의 이동환경에서 영상을 시청하는 때 5분마다 조절반응량을 측정하고 이를 박스 플롯으로 나타낸 결과 대부분의 분포량은 비슷하게 분포함을 알 수 있었다(Fig. 4A). 반복측정 분산분석을 실시하여 각 시간 대의 우위안과 비우위안의 조절반응량의 차이를 분석한 결과 우위안(repeated measure ANOVA, p=0.001)과 비우위안(repeated measure

ANOVA, p=0.000) 모두 측정 시간에 따라 조절반응량의 차이가 통계적으로 유의함을 확인할 수 있었다. 우위안의 경우, 실험 전 조절반응량 1.70±0.53 D에서 가상 이동환경에서 영상시청 5분 후 1.37±0.43 D로 조절반응량이 유의하게 감소하였다(paired t-test, p=0.001) 5분 이후로 조절반응량이 증가하여 20분 후 1.52±0.45 D로 5분 후 조절반응량에 비해 통계적으로 유의하게 조절반응량이 증가하였고(paired t-test, p=0.001), 5분 이후에 조절반응량이 감소하여 30분 후에는 영상시청 전에 비해 통계적으로 유의하게 낮은 조절반응량으로 나타났다(paired t-test, p=0.001). 즉, 우위안의 경우 조절반응량이 감소 증가를 반복하여 조절자극의 변화에 대한 조절적응이 반복적으로 나타남을 확인할 수 있었다. 비우위안의 조절반응량 변화는 영상시청 전 약 1.68±0.58 D에서 5분 후 1.28±0.45 D로 통계적으로 유의하게 감소하였다(paired t-test, p=0.000), 25분까지 조절반응량이 유지되었고, 30분 후 조절반응량이 1.41±0.43 D로 5분 후 조절반응량에 비해 통계적으로 유의하게 조절반응량이 증가하여(paired t-test, p=0.046) 우위안과 달리 비우위안에서는 조절반응량의 변화가 적음을 확인할 수 있었다. 가상 이동환경에서의 영상시청 시 우위안과 비우위안 모두 5분 후에 조절적응이 되지만 5분 이후 우위안과 비우위안의 조절반응량 변화 양상의 차이를 보였다. 우위안의 경우 조절자극의 변화에 따라 조절적응이 반복적으로 나타난 반면, 비우위안에서는 조절자극이 변화하여도 한 번 적응된 조절반응량에서 변화가 크지 않음을 확인할 수 있었다.

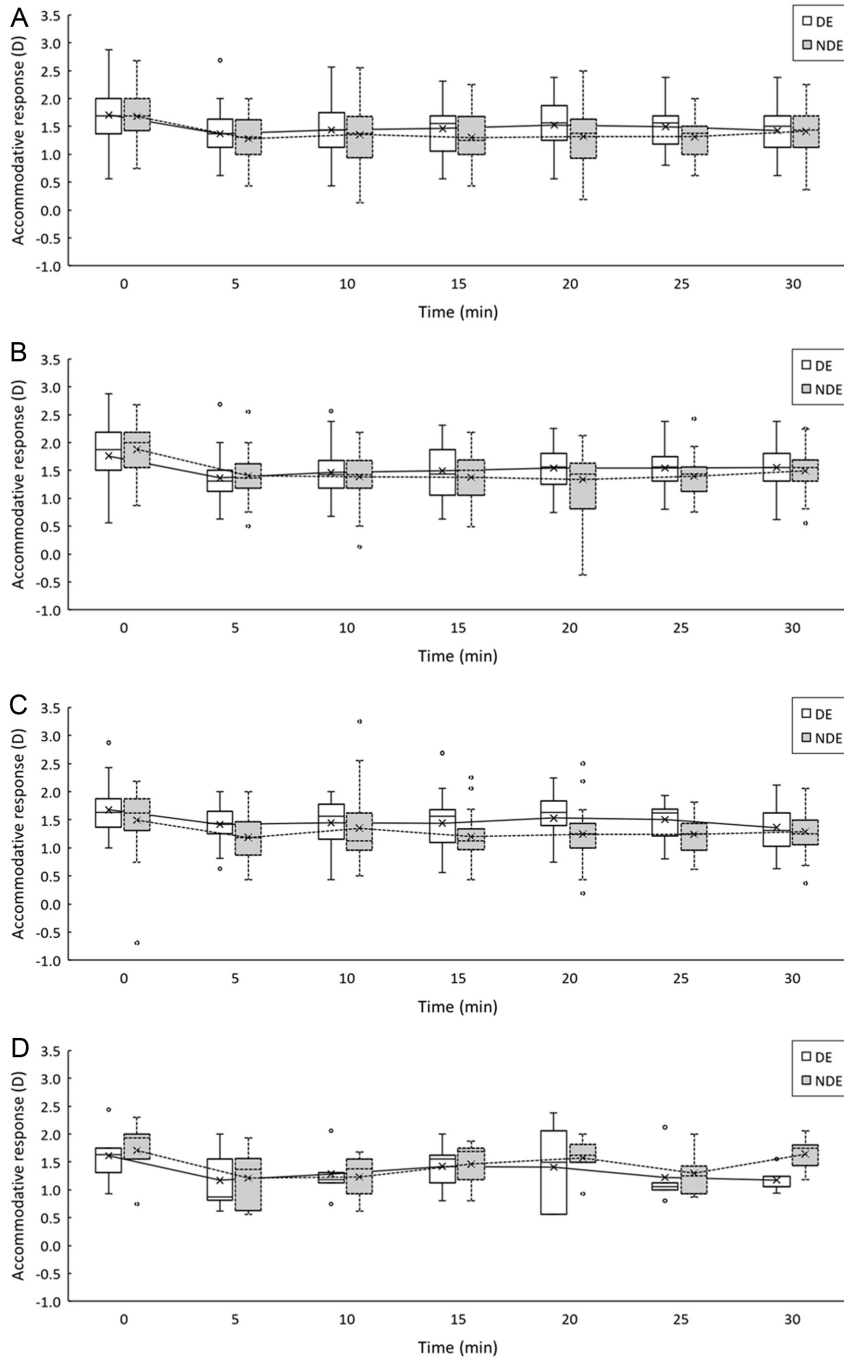


Fig. 4. Change in the accommodative response while watching a movie on a moving smartpad based on the degree of ametropia. A. Total, B. Mild, C. Moderate, D. Severe

3) 비정시 정도에 따른 조절반응량의 분포도

비정시 정도에 따른 조절반응량 변화 분석 시 경도 비정시군의 경우, 우위안은 영상시청 전 약 1.76±0.61 D의 조절반응량에 비해 영상시청 5분 후 약 1.36±0.48 D로 통계적으로 유의하게 감소하였고(Wilcoxon signed-rank test, p=0.012), 이후 20분까지 점진적으로 조절반응량이 증가하다가 영상시청 20분 후에 영상시청 5분 후의 조절반응량에 비해 통계적으로 유의하게 증가하는 것으로 나타났다(Wilcoxon signed-rank test, p=0.024)(Fig. 4B). 이후 영상시청 25분까

지 조절반응량이 유지되다가 다시 조절반응량이 감소하는 양상을 나타내었다. 반면 비우위안의 경우는 가상 이동환경의 영상시청 전 약 1.88±0.46 D의 조절반응량에서 영상시청 후 약 1.40±0.45 D로 통계적으로 유의하게 감소하였고(Wilcoxon signed-rank test, p=0.001), 이후 영상시청 30분 후까지 조절반응량이 감소된 상태를 지속적으로 유지하는 것으로 나타났다(Fig. 4B).

중도 비정시군의 조절반응량의 변화는 우위안에서는 영상시청 전 약 1.68±0.45 D의 조절반응량에서 시청 5분 후

약 1.41±0.35 D로 통계적으로 유의하게 감소하였다가 (Wilcoxon signed-rank test, $p = 0.037$) 영상시청 20분 후까지 다시 조절반응량이 증가하여 약 1.53±0.42 D로 나타나 시청 5분 후의 조절반응량에 비해 통계적으로 유의한 증가를 나타내었다(Wilcoxon signed-rank test, $p = 0.024$)(Fig. 4C). 이후 조절반응량은 다시 감소하여 영상시청 30분 후에는 시청 전 조절반응량에 비해 통계적으로 유의하게 감소한 약 1.36±0.40 D로 나타났다(Wilcoxon signed-rank test, $p = 0.003$). 비우위안에서는 영상시청 전 약 1.49±0.62 D의 조절반응량에서 시청 5분 후 약 1.18±0.60 D로 통계적으로 유의하게 감소하였고(Wilcoxon signed-rank test, $p = 0.009$) 영상시청 10분 후 조절반응량이 다시 증가하였다가 15분 후 다시 감소하여 시청 전 대비 유의한 조절반응량의 감소가 관찰되었고(Wilcoxon signed-rank test, $p = 0.025$), 이후 다시 조절반응량이 증가하였다가 시청 25분 후에는 시청 전 대비 유의하게 감소하여(Wilcoxon signed-rank test, $p = 0.015$) 30분 후에는 약 1.29±0.40 D의 조절반응량이 관찰되었다.

경도 및 중도 비정시군의 조절반응량 분포는 측정 시간마다 비슷한 정도의 분포를 보였지만 고도 비정시군에서는 측정 시간마다 조절반응량의 분포정도가 차이가 컸고 이로 인해 우위안과 비우위안의 조절반응량에 유의미한 변화 양상은 나타나지 않았다(Fig. 4D).

경도와 중도 비정시군에서 우위안의 조절반응량 변화는 지속적으로 변하기는 하나 반복이 되는 조절자극에 대하여 조절적응이 나타나는 비슷한 양상을 보인 반면, 비우위안의 경우 경도 비정시군에서 시청 초반에 조절적응이 일어난 후 조절반응량 변화가 적었던 경우와 달리 중도 비정시군에서 지속적으로 조절반응량이 변화하는 양상을 나타내어 비정시 정도가 높을수록 우위안 뿐만 아니라 비우위안에서도 조절적응을 반복적으로 하는 것으로 생각되었다. 고도 근시의 경우 대상안이 5명으로 적었고 변화 양상도 다양하여 뚜렷한 조절반응의 변화 양상을 확인할 수는 없었다.

3. 조절기능변화와 자각증상의 상관관계

가상 이동환경에서 스마트패드를 이용한 영상시청 전 우위안, 비우위안 및 양안의 조절용이성과 영상시청 후 조절용이성 변화량의 상관관계를 분석한 결과, 통계적으로 유의한 상관성은 관찰되지 않았다. 즉, 대상자의 조절 및 이완의 능력 차이는 조절용이성 변화 정도에는 유의한 영향을 미치지 못함을 의미한다. 반면 조절반응량은 우위안과 비우위안 모두에서 영상시청 전 조절반응량과 조절반응량 변화량 사이에 통계적으로 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났고, 우위안의 경우 Pearson 상관계수 $r = -0.711$ (linear

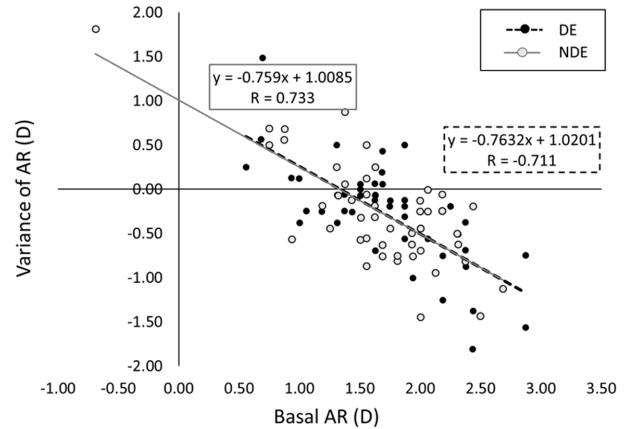


Fig. 5. Correlation between the baseline accommodative response and the variance in accommodative response after watching a movie on a smartpad. AR: accommodative response

regression analysis, $p = 0.000$), 비우위안의 경우 Pearson 상관계수 $r = -0.733$ (linear regression analysis, $p = 0.000$)으로 나타나 기본 조절반응량이 작을수록 조절반응의 변화량이 큰 경우가 많고, 기본 조절반응량이 클수록 조절반응의 변화량은 적거나 감소함을 알 수 있었다(Fig. 5). 그러나 조절반응량과 자각증상 점수 사이에는 통계적으로 유의한 상관성이 관찰되지 않았다. 자각증상과 상관성이 있던 조절기능항목으로는 양안조절용이성 변화량과 전신증상점수 사이에서만 Pearson 상관계수 $r = -0.295$ (linear regression analysis, $p = 0.038$)로 음의 상관성이 나타나 양안 조절용이성이 감소할수록 전신증상의 점수가 증가함을 확인할 수 있었다(Fig. 6).

즉, 단안 조절용이성 및 조절반응량과 자각증상 간에는 통계적으로 유의한 상관성이 없었으므로 조절기능 변화와

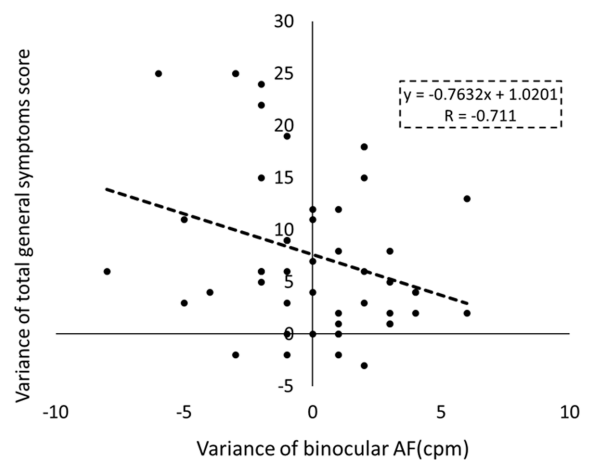


Fig. 6. Correlation between variations in the binocular accommodative facility and the total general symptom score after watching a movie on a smartpad. AF: accommodative facility

자각증상 간의 직접적인 상관관계는 확인할 수 없었으나 양안 조절용이성 변화량과 전신증상 점수 사이에는 음의 상관성이 있는 것으로 나타났으므로 조절기능 보다는 폭주기능의 저하가 전신증상의 변화에 영향을 주었던 것으로 추측할 수 있었다. 또한 본 연구에서 조절용이성은 감소보다는 유지되거나 증가하는 경우가 많았음에도 불구하고 자각증상이 높게 나타났으므로 폭주기능의 변화에 기인한 결과된 것이라 생각할 수 있다.

본 연구에서는 도보 중 또는 대중교통을 이용하면서 스마트폰기기를 사용할 때 발생가능한 스마트기기의 수직 움직임 환경을 구현하여 조절자극이 수직방향으로 지속 및 반복적으로 변화하는 상태에서 조절기능 및 자각증상의 변화를 관찰하였다. 가상 이동환경에서의 30분간 영상시청 후 전신 및 눈 관련 자각증상의 세부항목은 모두 통계적으로 유의하게 증가하여 반복적인 움직임이 있는 화면을 통해 근거리 작업을 할 경우 전신 및 눈 관련 자각증상의 악화가 유발됨을 확인할 수 있었다.

우위안의 비정시 정도에 따른 분류에서 경도와 중도 비정시군은 메스꺼움 항목을 제외한 모든 항목에서 증상이 유의하게 증가하였지만, 고도 비정시군의 경우 변화가 없거나 증가하는 경우가 상반되게 나타나 자각증상의 증가가 통계적으로 유의하게 나타나지 않았다. 고도 비정시군이 5명으로 적은 수이긴 하지만 자각증상 변화는 개개인이 느끼는 정도가 상반됨을 확인할 수 있었다. 본 연구진에 의해 선행된 스마트패드의 움직임이 없는 정적인 환경에서의 근거리 작업 후 자각증상의 변화를 연구한 결과^[7]에서는 피곤함, 흐림 항목에서 유의한 증가가 있었고, 그 외의 항목에서는 자각증상의 변화가 크지 않았던 반면, 가상 이동환경에서의 근거리 작업은 자각증상이 모두 유의하게 높아짐을 알 수 있었다. 경도 및 중도 비정시군의 자각증상 변화는 head mounted display를 착용한 상태로 움직이는 이미지를 보았을 때에 높게 나타나는 증상인 메스꺼움 항목을 제외하고는 모두 높게 나타났다.^[12,13]

가상 이동환경에서 영상시청 후 조절용이성과 조절반응량의 변화를 분석한 결과 조절용이성은 변화 양상이 다양하여 단안 및 양안 모두 통계적으로 유의한 변화가 관찰되지 않았지만 조절용이성이 감소하는 경우보다는 유지 혹은 증가하는 비율이 감소에 비해 높은 것으로 나타났다. 조절자극이 지속적으로 바뀌는 가상 이동환경에서의 근거리 작업이 일시적인 시기능 훈련의 효과가 나타날 수도 있음을 예측해 볼 수 있겠다.^[14,15]

조절반응량은 우위안과 비우위안에서 영상시청 지속시간에 따른 차이가 존재하였다. 즉, 영상시청 5분 후에는 우위안과 비우위안 모두 조절반응량이 유의하게 감소하였지만 5분 이후부터 변화 양상에 차이를 보였는데, 우위안

은 시청 20분까지 다시 서서히 조절반응량이 증가하였다가 다시 감소한 변화양상을 보인 반면, 비우위안은 영상시청 25분까지 조절반응량의 변화가 없이 유지되다가 이후 다시 증가하는 양상으로 나타나 조절자극의 변화에 조절반응과 적응을 반복하는 우위안과 달리 비우위안은 조절자극의 변화에도 조절적응을 유지하고 있음을 알 수 있었다. Schor 등^[16]은 정적인 근거리 작업이 지속될 경우 2분 이내에 조절적응이 발생한다고 하였다. 근거리작업으로 조절적응이 발생할 경우 조절반응량은 낮게 측정될 수 있고,^[17] 낮은 조절반응량은 근거리 작업 시 안구의 피로와 연관될 수 있다.^[18] 본 연구에서는 우위안의 경우 조절자극의 변화에 따라 조절반응이 측정시간마다 증가 감소하는 것을 통해 조절자극량 변화의 반복이 지속될 때 조절적응 또한 반복적으로 일어남을 확인할 수 있었지만, 비우위안의 경우 조절반응량의 변화가 근거리작업 초기 감소 후 지속적으로 유지되어 가상 이동환경이지만 조절적응이 지속적으로 유지되는 것을 통해 동적환경에서의 근거리작업 시에는 우위안의 조절반응과 적응의 역할이 중요한 것으로 생각되었다. Tsuneyoshi 등^[19]에 따르면 양안상태에서 우위안에 비해 비우위안이 조절반응량이 낮다고 하였고, Ibi 등^[20]의 연구에 따르면 양안시 상태로 우위안과 비우위안의 조절반응을 관찰하였을 때 우위안의 조절반응 시간과 속도가 빨라 원거리에서 근거리 주시 시 우위안이 주된 역할을 한다고 하였는데, 수직으로 시선이 반복적으로 이동하여 폭주 및 조절의 자극이 미세하게 지속적으로 변화하는 본 연구에서도 우위안의 역할이 비우위안에 비해 컸던 것으로 판단된다.

근거리작업으로 데스크탑을 사용한 수직방향의 게임 후 조절기능의 변화를 연구한 권 등^[21]의 선행연구결과에 따르면 40분, 90분의 수직방향의 게임 후에 조절용이성의 유의한 변화가 없었고, 실험 40분 후 조절레그의 변화도 40분 후까지는 유의한 변화가 없었지만 90분 후 유의하게 증가하여 조절반응량이 감소한 것으로 나타났다. 본 연구는 5분 간격으로 30분 동안 조절반응량을 측정하였기 때문에 권 등의 연구와 시간적인 차이가 있었고 실제 조절반응량 변화가 감소 및 증가를 반복하였으므로 동적환경에서의 근거리 작업이 장시간 지속될 경우 조절반응량의 변화는 감소할 수도 있을 것이라 생각된다.

비정시 정도에 따른 비우위안의 조절반응 변화 양상에 차이는 정시에서 근시로 갈수록 근거리에서 조절반응량이 감소하는 선행 연구결과^[22]와 근시가 진행된 눈 일수록 긴장성 조절량이 정시에 비해 적다는 연구결과^[23]를 미루어 볼 때, 경도 비정시군은 조절반응이 중도 및 고도 비정시군에 비해 높게 발생하여 우위안의 조절반응으로 양안 단일선명시를 유지할 수 있지만 근시도가 높아질수록 조

절반응량이 낮아지고, 우위안의 조절반응으로만 선명시를 유지하기 힘들 수 있어 비우위안의 조절적응 및 반응이 함께 나타난 것으로 생각되었다.

조절기능 변화와 자각증상의 상관관계를 분석한 결과 실험 전 조절반응량과 조절반응량 변화량 사이에 강한 음의 상관성이 나타난 결과는 시기능 효과를 간접적으로 설명하는 것이라 생각된다. 영상시청 전 조절반응량이 적은 대상자의 조절반응량은 높게 나타났고, 시청 전 조절반응량이 높은 경우 이미 조절기능을 잘 유지할 수 있는 대상자일 가능성이 있다고 생각되었다.

Tosha 등^[8]의 연구에서는 시각적 불편감이 높은 군에서 조절반응량이 낮게 측정된다고 하였으나, 본 연구에서는 조절반응량과 자각증상 사이의 유의한 관계는 관찰되지 않았으며, 자각증상과 상관성을 보인 조절기능의 변화는 양안조절용이성으로 측정값이 감소할수록 자각증상이 증가하는 결과를 나타내었다. 양안조절용이성의 경우 조절과 폭주기능을 간접적으로 확인할 수 있는 검사이기 때문에 폭주기능의 변화가 자각증상에 영향을 줄 수 있음을 예상해 볼 수 있다.

결론

본 연구에서는 가상 이동환경에서 스마트패드로 영상을 30분간 시청한 뒤 나타나는 자각증상과 조절기능의 변화를 알아보고자 하였다. 영상시청 전과 비교하여 시청 후 모든 항목의 전신 증상과 눈 관련 자각증상이 악화되었다. 자각증상에서 큰 변화가 있었던 결과와는 달리 조절기능에서 조절용이성은 유지되거나 증가하는 비율이 높았다. 조절반응량의 변화는 우위안에서는 감소와 증가를 반복하였고, 비우위안은 감소된 상태에서 반응량의 변화가 크지 않아 우위안의 기능이 동적환경에서의 근거리 작업 시 중요한 역할을 하고 있음을 확인하였다. 또한 양안단일선명시를 유지하기 위해 경도 비정시군은 우위안에서, 중도 비정시군은 우위안과 비우위안에서 조절적응과 반응이 반복적으로 작용하는 것을 알 수 있었다. 조절기능의 변화 결과로 볼 때 본 연구환경인 수직방향의 조절자극이 일정하게 반복되는 환경에서의 영상시청은 시기능 훈련의 효과를 유발함을 예상해 볼 수 있지만 자각증상이 유의하게 증가하였으므로 실험 시간과 폭주기능으로 인한 변화도 배제할 수는 없다.

본 연구는 이동 중 스마트폰이나 스마트패드의 시청으로 인하여 흔들리는 화면을 주시하는 상황을 만들어 연구를 진행하였고, 그 결과 움직이는 영상시청 시 자각증상과 조절기능에 미치는 영향에 대해 알 수 있었다. 영상시청시간을 30분이라는 제한된 시간동안 일상생활에서처럼 불규

칙한 화면의 이동이 아니라 일정한 속도와 구간에서 움직이는 영상을 시청했다는 점에서 실제 일상생활의 동적환경과 완벽히 일치한다고 보기는 어려우나 조절기능의 경우 유지 또는 증가 경향을 보여 조절기능의 감소가 관찰되지는 않았다. 그러나 본 연구 결과 가상 이동환경에서의 영상시청으로 인한 자각증상의 변화는 큰 것으로 나타났으므로 자각증상의 변화에 영향을 미치는 요인으로 폭주기능 변화에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- [1] Pew Research Center. Smartphone ownership on the rise in emerging economies, 2018. <https://www.pewresearch.org/global/2018/06/19/2-smartphone-ownership-on-the-rise-in-emerging-economies>(24 August 2019).
- [2] Ministry of Land, Infrastructure, and Transport. Most frequently used public transportation in metropolitan area, Bus No. 143 and Subway Line No. 2...7.19 million people a day, 2019. http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?id=95082104(24 August 2019).
- [3] Korean Statistical Information Service. Number of gender populations by administrative region (city and district), 2019. http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1B040A3&checkFlag=N(09 August 2019).
- [4] Kim J, Yang DJ, Choi DY, Kim SR, Park M. Changes in heterophoria and fusional vergence after near work with smartphone and paper book. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2016;21(4):385-392.
- [5] Kim SR, Park SY, Yeo HJ, Kim DY, Jeong JH, Jang HS et al. The change of convergence function of convergence insufficiency in their twenties after doing near work using a smartphone. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2018;23(1):47-56.
- [6] Kim J, Song SH, Kim JM, Kim SR, Park M. Correlation of subjective symptom and reading speed after reading paper book and e-book using tablet pc. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2018;23(2):151-161.
- [7] 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.
- [8] Kohl P, Coffey B, Reichow A, Thompson W, Willer P. Comparative study of visual performance in Jet fighter and non-pilots. *J Behav Optom.* 1992;5(2):123-126.
- [9] Ahn BC. Dynamic and kinetic visual acuity of athletes and nonathletes. *Korean J Sports Med.* 1998;16(2):238-244.
- [10] Lee MA, Oh JM, Jung JH. Dynamic visual acuity and dynamic stereoacuity of athletes and nonathletes. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2009;14(3):43-49.
- [11] Ames SL, Wolffsohn JS, McBrien NA. The development of a symptom questionnaire for assessing virtual reality viewing using a head-mounted display. *Optom Vis Sci.*

- 2005;82(3):168-176.
- [12] Ukai K, Kibe A. Counterroll torsional eye movement in users of head-mounted displays. *Displays*. 2003;24(2):59-63.
- [13] Kuze J, Ukai K. Subjective evaluation of visual fatigue caused by motion images. *Displays*. 2008;29(2):159-166.
- [14] Ciuffreda KJ. The scientific basis for and efficacy of optometric vision therapy in nonstrabismic accommodative and vergence disorders. *Optometry*(St. Louis, Mo.). 2002;73(12):735-762.
- [15] Lee MA, Oh JM, Jeong JH. The effects of sports vision training on baseball player's visual performance and baseball records. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2010;15(1):87-97.
- [16] Schor CM, Kotulak JC, Tsuetaki T. Adaptation of tonic accommodation reduces accommodative lag and is masked in darkness. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1986;27(5):820-827.
- [17] Rosenfield M, Gilmartin B. Accommodative error, adaptation and myopia. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1999;19(2):159-164.
- [18] Tosha C, Borsting E, Ridder WH 3rd, Chase C. Accommodation response and visual discomfort. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2009;29(6):625-633.
- [19] Tsuneyoshi Y, Negishi K, Tsubota K. Importance of accommodation and eye dominance for measuring objective refractions. *Am J Ophthalmol*. 2017;177:69-76.
- [20] Ibi K. Characteristics of dynamic accommodation responses: comparison between the dominant and non-dominant eyes. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1997;17(1):44-54.
- [21] Kwon KI, Woo JY, Park M, Kim SR. The change of accommodative function by the direction of eye movements during computer game. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2012;17(2):177-184.
- [22] McBrien NA, Millodot M. The effect of refractive error on the accommodative response gradient. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1986;6(2):145-149.
- [23] McBrien NA, Millodot M. The relationship between tonic accommodation and refractive error. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1987;28(6):997-1004.

가상의 이동환경에서 근거리 작업 후 자각증상 및 조절기능의 변화

김지혜¹, 정원영¹, 정민진¹, 이경철¹, 원한울¹, 김성도¹, 박미정², 김소라^{2,*}

¹서울과학기술대학교 안경광학과, 학생, 서울 01811

²서울과학기술대학교 안경광학과, 교수, 서울 01811

투고일(2019년 8월 25일), 수정일(2019년 9월 16일), 게재확정일(2019년 9월 18일)

목적: 본 연구에서는 수직방향의 가상 이동환경에서 스마트패드로 영상을 시청한 후 나타나는 자각증상 및 조절기능의 변화를 알아보려고 하였다. **방법:** 20대 남녀 각각 19명 및 31명을 대상으로 콘택트렌즈를 이용하여 굴절이상 교정한 후 수직방향으로 반복적으로 움직이도록 설정된 스마트패드를 통하여 영상을 30분 동안 시청하도록 하였다. 영상을 시청하는 동안 매 5분마다 개방형 자동굴절측정기로 조절반응량을 측정하였으며, 시청 전후의 자각증상 점수 및 조절용이성을 측정하여 그 변화양상을 분석하였다. **결과:** 가상의 이동환경에서 스마트패드를 이용한 영상시청 후 자각증상 점수는 전신 증상과 눈 관련 증상 모두 통계적으로 유의하게 증가하는 것으로 나타났으나 조절용이성은 단안과 양안 모두 유의한 변화가 관찰되지 않았다. 조절반응량은 우위안의 경우는 영상시청 30분 동안 감소와 증가를 반복하였고, 비우위안은 감소한 후 유지되는 경향을 나타내었다. 비정시 정도가 높은 경우에는 비우위안에서도 조절반응량의 감소와 증가가 반복되는 경향이 나타났다. 양안조절용이성과 자각증상의 변화 간에는 통계적으로 유의한 상관성이 나타났으나 조절반응량과 자각증상 간에는 상관성이 없었다. **결론:** 본 연구결과는 수직방향의 동적환경에서 근거리 작업 시 나타나는 자각증상의 변화는 조절기능과는 유의한 상관관계가 없음을 제안한다 하겠다.

주제어: 가상 이동환경, 근거리작업, 동적환경, 자각증상, 조절반응량, 조절용이성

Appendix
Virtual Reality Symptom Questionnaire

	Symptoms	Degree			
		None	Slight	Moderate	Severe
1	General discomfort	0	1 2	3 4	5 6
2	Fatigue	0	1 2	3 4	5 6
3	Boredom	0	1 2	3 4	5 6
4	Drowsiness	0	1 2	3 4	5 6
5	Headache	0	1 2	3 4	5 6
6	Dizziness	0	1 2	3 4	5 6
7	Difficulty concentrating	0	1 2	3 4	5 6
8	Nausea	0	1 2	3 4	5 6
9	Tired eyes	0	1 2	3 4	5 6
10	Sore/aching eyes	0	1 2	3 4	5 6
11	Eyestrain	0	1 2	3 4	5 6
12	Blurred vision	0	1 2	3 4	5 6
13	Difficulty focusing	0	1 2	3 4	5 6