

청색광 배출도를 조절한 인터넷 텔레비전 영상의 눈피로도 감소효과

Reduction of Blue Light Emission in Internet-protocol Television and Its Effect on Ocular Fatigue

김현아¹ · 김현태¹ · 신대환² · 임현택¹ · 최철영² · 조운정³ · 김재용¹ · 김찬윤⁴ · 차흥원¹

Hyuna Kim, MD¹, Hyun-Tai Kim, MD¹, Dae-Hwan Shin, MD², Hyun Taek Lim, MD, PhD¹,
Chul Young Choi, MD, PhD², Woon Jung Cho, PhD³, Jae Yong Kim MD, PhD¹, Chan Yun Kim, MD, PhD⁴,
Hungwon Tchah, MD, PhD¹

울산대학교 의과대학 서울아산병원 안과학교실¹, 성균관대학교 의과대학 강북삼성병원 안과학교실², 연세대학교 인지과학연구소³,
연세대학교 의과대학 안과학교실 시기능개발연구소⁴

Department of Ophthalmology, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine¹, Seoul, Korea
Department of Ophthalmology, Kangbuk Samsung Hospital, Sungkyunkwan University School of Medicine², Seoul, Korea
Institute of Cognitive Science, Yonsei University³, Seoul, Korea
The Institute of Vision Research, Department of Ophthalmology, Yonsei University College of Medicine⁴, Seoul, Korea

Purpose: The blue light emitted from electronic devices may be harmful to the eye. We investigated whether internet-protocol television (TV) with lowered blue light emission reduced ocular fatigue.

Methods: A total of 98 healthy subjects were recruited. They watched an animated movie (A) and an identical version except for reduced blue light (B), sequentially for 1 hour in random order. Before and after watching the movies, we measured the distance and near refraction and tear break-up time objectively. Ocular discomfort score and the earliest onset time of the ocular fatigue symptoms were also measured using our specially designed subjective ocular discomfort scale.

Results: The median age of the participants was 28.5 years, and there were 56 females out of 98 total participants. Both distance and near refraction were not significantly different before versus after watching the movies, nor between viewing movies A and B. However, the accommodative amplitude measured by subtracting the near refraction from the distance refraction was found to be greater after watching movie B compared with movie A in a subset of subjects with hyperopia [1.92 vs. 1.72 diopters (D) for the right eye and 2.14 vs. 1.83 D for the left eye; $p = 0.04$ and $p < 0.01$, respectively]. The ocular discomfort score was lower (15.40 vs. 12.85; $p = 0.10$), but not significantly, and the earliest ocular fatigue onset time was significantly delayed (23.48 vs. 34.51 minutes; $p < 0.01$), after watching movie B.

Conclusions: Reduction of blue light emission alleviated ocular fatigue caused by TV displays. Watching TV with lower blue light may provide benefits to hyperopic individuals by reducing eye strain and improving the accommodative amplitude.

J Korean Ophthalmol Soc 2018;59(3):230-237

Keywords: Digital eye strain, Internet-protocol television, Ocular discomfort score, Ocular fatigue

■ Received: 2017. 11. 23. ■ Revised: 2017. 12. 13.
■ Accepted: 2018. 2. 19.

■ Address reprint requests to Hyun Taek Lim, MD, PhD
Department of Ophthalmology, Asan Medical Center, #88
Olympic-ro 43-gil, Songpa-gu, Seoul 05505, Korea
Tel: 82-2-3010-3680, Fax: 82-2-470-6440
E-mail: htlim@amc.seoul.kr

* This study was conducted from February to May 2017 under
written research agreement between the LG U plus and the
Korean Ophthalmological Society.

Television (TV), 컴퓨터, 스마트폰, 태블릿 등 디지털
미디어 기기를 장시간 사용하면 눈 피로감, 불편감이 심화
된다는 사실은 이미 경험적으로 잘 알려져 있다. 다양한
연구를 통해서도 이는 잘 증명되어 있는데 2014년 영국에
서 25세 이하의 2,000명을 대상으로 한 연구에서 조사 대
상의 55%가 디지털 화면시청 중에 눈피로감을 가장 큰
불편 증상으로 호소하였다.¹ 2015년 초등학교 1,000명을
대상으로 우리나라에서 시행된 스마트미디어 영향 연구

에서는 고학년 아동의 9%가 안구건조증상태로 판명되었고 안구건조증 상태의 아동은 그렇지 않은 아동에 비해 스마트미디어 사용시간이 현저하게 긴 결과를 보여주었다.² 나아가, light-emitting diode (LED) 화면에서 다량 배출되는 청색광에 의해서는 각결막, 수정체뿐만 아니라 망막기능의 악화를 초래할 수 있고, 노출이 장기화되어 조사량이 누적되면 황반변성의 유발원인이 된다고 알려져 있다.³ 청색광, 특히 415- 455 nm의 단파장 고에너지 청색광은 안구세포독성이 매우 높고 망막신경절세포내 미토콘드리아 소기관에까지 영향을 미쳐 망막기능, 시신경기능의 악화를 초래하는 것으로 밝혀졌다.^{4,5} 특히 야간에 노출되는 청색광은 단지 눈뿐만 아니라 수면리듬, 심리정서, 내분비 대사에 영향을 미쳐 수면이상, 비만, 당뇨병을 유발하는 원인이 될 수 있어서,^{6,7} 이제는 스마트미디어에 의해 배출되는 청색광에 대해 전 사회적인 환기와 적절한 대응이 필요한 시점이라 하겠다.

스마트폰, 컴퓨터, TV 등 다양한 전자기기의 사용과 관련하여 발생하는 제반 안과적 증상을 최근에는 디지털 눈 긴장증(digital eye strain)으로 통칭하여 부르고 있다.¹ 청색광은 디지털 눈 긴장증의 중요한 원인 중의 하나이다.⁶ 본 연구는 인터넷프로토콜 TV (internet protocol television, IPTV)로 서비스되는 영상을 시청할 때 청색광 배출도를 현저히 줄인 시험영상이 통상적인 TV 영상(대조영상)에 비해 디지털 눈 긴장증의 주요 증상인 눈피로도를 유의하게 감소시킬 수 있는지를 검증하고자 수행되었다.

대상과 방법

유익한 안과적 질병 혹은 수술의 과거력이 없는 건강한 자원자를 공개모집하여 98명의 피험자 대상군을 설정하였다. 연령 7세 이상(초등학생 이상)의 본 시험에 동의하는 건강한 자원자를 대상으로 하였으며, 두눈 굴절력(구면도수대응치)의 차이가 3 diopter 이상인 경우, 한눈 혹은 두눈의 약시가 진단된 경우, 안구운동검사상 10프리즘디옵터 이상의 제일눈위치 안구편위가 진단된 경우, 기타 임상시험에 협조가 어려운 전신질환이 있는 경우는 배제하였다. 전체 피험자를 대상으로 본 임상시험 전 사전교육을 통해 임상시험의 개요, 방법, 피험자번호 부여, 진행과정과 순서, 주관적 눈불편감척도 평가방법 등 임상시험 전반에 대한 상세한 안내를 제공하였으며, 사전교육 후 전 피험자로부터 사전동의서(informed consent)를 작성 받았다. 18세 이하의 피험자에 대해서는 동행한 부모로부터 사전동의서를 함께 작성 받았다. 본 연구는 헬싱키 선언을 준수하였고 서울아산병원 임상연구심의위원회의 승인

(#2017-0944)을 획득하였다.

동영상의 준비와 시청

하나의 동일한 가족용 애니메이션 영화로부터 1시간 분량의 영상클립을 추출하여 두 종류의 영상모드로 준비하였다. 한 가지는 원본과 동일한 그대로의 영상(대조영상)이고 다른 한 가지는 청색광 배출도를 현저히 줄인 저청색광 시험영상이었다. 영상은 (주) LG 유플러스(Seoul, Korea)에서 제작하여 동일 제형의 셋톱박스로 준비하였다. 저청색광 시험 영상은 red-green-blue (RGB) 조사비율과 alpha channel 투명도를 조절하여 청색광 배출을 현저히 줄이면서 편안한 색깔을 제공할 수 있도록 제작되었다. 이 시험영상과 대조영상을 동일한 LG 전자 65인치 ultra-high-definition (UHD) 평면 TV를 통해 2 m 거리에서 교대로 1시간씩 시청하도록 하였다. 전체 피험자를 무작위로 A군과 B군으로 배정하였고 A군은 저청색광 시험동영상을 먼저 시청하고 30분간 휴식 후 대조 동영상을 1시간 시청하게 하였고, B군은 그 반대로 대조동영상을 먼저 1시간 시청하고 역시 30분 휴식 후 시험동영상을 1시간 동안 시청하도록 하였다. 시청공간은 조도, 온도, 습도, 그리고 면적의 유의한 차이가 없는 동일 건물, 동일 층의 실내 공간으로 마련하여 최대한 동일한 환경에서 7-8명씩 시청할 수 있도록 하였고, 휴식공간은 100명 수용 규모의 넓은 장소로 제공하여 가능한 한 편안한 휴식을 취하도록 안내하였다. 휴식 중 스마트폰, 태블릿의 사용, 독서 등 근거리 작업은 삼가도록 하였다.

타각적 지표의 측정

각 동영상 시청의 눈피로도에 대한 영향을 객관적으로 파악하기 위해 세 가지의 타각적 지표를 측정하였다. 첫째, 동영상 시청 전과 후, 세극등현미경(BQ900 slit lamp; Haag-Streit AG, Koniz, Switzerland)과 형광스트립, 스톱워치를 이용하여 한 명의 동일 측정자가 눈물막파괴시간을 측정하였다. 둘째, 원거리, 근거리 굴절력 동시 측정이 가능한 자동굴절검사계(WAM-5500 open-field autorefractor, Grand Seiko, Japan, Fig. 1)를 사용하여 동영상 시청 전과 후 5 m 원거리에서의 굴절력과 40 cm 근거리에서의 굴절력을 각각 측정하였다. 원거리 굴절력 측정 직후 근거리 굴절력을 순차적으로 측정하였으며 근거리 시표로는 iPad liquid-crystal display (LCD) 화면에 나타난 5분각 크기의 흑백대비 그림시표를 이용하였다. 원거리와 근거리 굴절력의 차이를 계산하여 40 cm 근거리 조절력을 측정하였으며 조절력 측정의 샘플링속도는 5 Hz로 하였다. 셋째, 동영상 시청 중 시선추적장치를 이용하여 피험자의

주시행동을 측정하였다. 20세 이상 성인 자원 피험자 2명을 대상으로 SMI Eye Tracking Glasses 2 Wireless (Sensory Motoric Instruments, Teltow, Germany, Fig. 2)를 사용하여 시험영상과 대조영상 시청 동안의 눈깜박임 횟수와 시선 움직임 양상을 측정하였다. 40분씩 두 가지 영상을 무작위순으로 시청하도록 하였고 실시간 시선운동을 추적 기록하였다. 양안 동시측정방식으로 샘플링속도는 60 Hz로 하였다. 원거리 굴절력과 연령에 따른 타각적 지표결과의 차이 여부를 조사하기 위하여 전체 피험자군을 세분하여 원시군과 근시군, 그리고 14세 이하 연령군과 초과 피험자군으로 나누어 측정결과를 비교분석하였다.

자각적 지표의 측정

영상 시청 후에는 별도로 고안한 눈불편감척도(Ocular Discomfort Analog Scale, ODAS)를 이용하여 피험자의 주관적 눈피로도를 측정하였다(Appendix 1). TV, 스마트폰, 컴퓨터 등 디지털미디어를 장시간 시청한 후 일반적으로 호소하는 불편감을 7가지 지표(눈부심, 압박감, 건조함, 이물감, 작열감, 침침함, 피로감)로 나누어, 피험자가 주관

적으로 느낀 각 불편감의 정도를 아날로그 척도로 기록하게 하였다(Appendix 1). 아날로그 척도는 통증, 불편감 등 주관 증상의 강도를 계량화하여 측정하는 대표적인 방법이며, 피험자가 지금껏 느껴왔던 가장 심한 불편감을 10으로, 그 반대를 0으로 기준하여 TV 영상 시청 직후 작성하도록 하였다. 초등학생 아동의 경우 동반한 보호자의 보조를 허용하였다. 또한 눈불편감 증상이 나타나기 시작한 가장 이른 시간을 1분 단위의 숫자로 0-60분 중에서 기록하도록 하였다. 저청색광 시험동영상 및 대조 동영상 시청 후 각각 측정한 눈불편감 척도를 취합하여 비교하였으며, 통계분석은 SPSS version 21.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였고 paired *t*-test와 Repeated measured analysis of variance (ANOVA)로 검정하였다. 유의수준은 0.05로 설정하였다.



Figure 1. Measurement of refraction using an open-field autorefractor (WAM-5500, Grand Seiko, Tokyo, Japan). Measuring both distance and near refraction allowed us to calculate the degree of near accommodation.

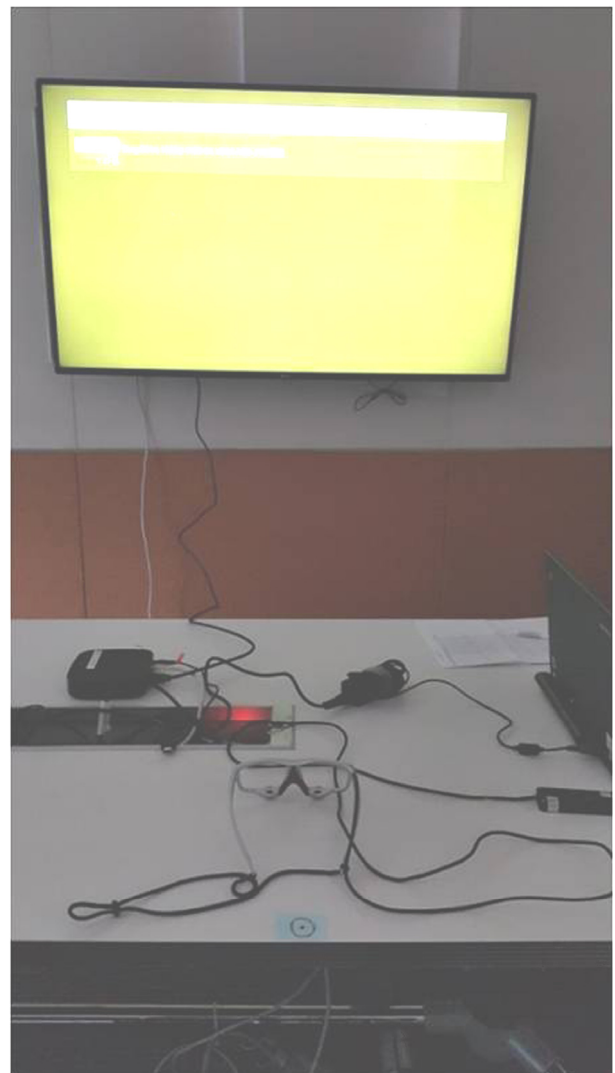


Figure 2. Eye tracking test using the SMI Eye Tracking Glasses 2 Wireless (Sensory Motoric Instruments, Teltow, Germany). Fixation was continuously traced while watching videos.

결 과

총 피험자 98명의 연령 중앙값은 28.5세(범위: 7-47세)였고 그중 여성이 56명이었다. 14세 이하 어린이는 31명(중앙값: 12세)이었다. 무작위로 배정한 A군과 B군의 연령 중앙값은 각각 29.0세, 27.0세로 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p=0.86$). 원거리 굴절력 기준 원시(spherical equivalent [SE] > 0 diopter [D]). 피험자는 37명이었고 근시 피험자(SE ≤ -1.0D)는 40명이었다. 그중 -3.0D 이상의 근시는 12명이었다(Table 1).

눈물막 파괴시간과 굴절력, 조절력의 변화

눈물막 파괴시간은 영상 시청 전 평균 6.50초에 비해 대조영상과 저청색광 시험영상 시청 후 5.76초와 5.97초로 줄어들었으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었고 대조영상과 시험영상 간의 차이도 통계적으로 유의하지는 않았다. 두 영상의 시청 순서를 다르게 한 A군과 B군 간에도 유의한 차이는 없었다(Table 2).

5 m 원거리와 40 cm 근거리 굴절력에서는 시청 전과 후 유의한 변화가 관찰되지 않았다. 우안의 경우 시청 전 각각 평균 -1.57D, -2.79D에서 대조동영상 시청 후 -1.60D, -2.83D, 저청색광 시험동영상 시청 후 -1.58D, -2.87D로 측정되어 원거리, 근거리 굴절력 모두 시청 전후 그리고 두 영상 간의 유의한 차이가 발견되지 않았다.

40 cm에서의 근거리 조절시표에 대한 조절력에서는 피

험자 전체를 대상으로 했을 때 TV 시청 전후 유의한 차이가 드러나지 않았으나, 원거리 구면대응치가 0디옵터보다 높은 원시 피험자(37명)만을 선별한 분석에서는 저청색광 시험동영상 시청 후에 대조 동영상 후보다 유의하게 높은 조절력이 계측되었고, 이는 우안, 좌안 모두에서 통계적으로 유의한 수준으로 재현되었다(대조영상 시청 후 우안 1.70D, 좌안 1.83D, 시험영상 시청 후 우안 1.92D, 좌안 2.14D, $p=0.04$, $p<0.01$) (Table 3). 연령에 따른 측정결과의 차이 여부를 알기 위하여, 14세 이하의 피험자 31명을 전체 피험자군과 구분하여 눈물막 파괴시간, 굴절력, 근거리 조절력 측정결과의 차이를 비교하였을 때 모든 지표에서 유의한 차이는 발견되지 않았다.

두 명의 자원자를 대상으로 수행한 시선추적검사와 두 명 피험자 모두 시험동영상 시청 중에 대조영상 시청 때보다 눈깜박임의 총 횟수가 더 많았다. 피험자 1은 각각 685회와 626회, 피험자 2는 각각 821회와 789회로 대조영상 시청 때 눈깜박임 빈도가 낮아 시험영상 시청 때보다 상대적으로 눈피로도가 높아짐을 반영하였다. 분당 눈깜박임 횟수는 15-20회 분포였다. 시선추적검사를 통해 측정된 신속운동(saccade)과 재주시운동의 횟수 측면에서는 시험영상과 대조영상 사이에 유의한 차이가 검출되지 않았다.

자각적 눈불편감 지표의 변화

주관적인 눈불편감척도(ODAS)의 평균 점수는 저청색

Table 1. Demographics of subjects

	Total	Group A	Group B	Myopia	Hyperopia
Age (years)	27.0 ± 12.3	27.0 ± 13.3	27.0 ± 11.4	25.4 ± 11.8	27.4 ± 13.1
Sex (male:female)	42:56	17:30	25:26	21:19	14:23
Tear-break up time (sec)	6.50 ± 2.59	5.92 ± 2.01	7.18 ± 3.02	6.12 ± 2.87	6.99 ± 2.21
Refractive error (OD, diopters)	-1.48 ± 1.95	-1.25 ± 1.92	-1.70 ± 1.97	-3.33 ± 1.66	0.10 ± 0.72
Refractive error (OS, diopters)	-1.58 ± 2.00	-1.27 ± 1.97	-1.87 ± 1.99	-3.35 ± 1.70	0.09 ± 0.63
Accommodation response (OD, diopters)	1.27 ± 0.83	1.38 ± 0.89	1.10 ± 0.76	1.05 ± 0.74	1.77 ± 0.44
Accommodation response (OS diopters)	1.40 ± 0.73	1.53 ± 0.65	1.25 ± 0.65	1.20 ± 0.58	1.70 ± 0.59

Values are presented as mean ± SD unless otherwise indicated. 'Group A' means 'subjects watching control video after test video with a 30-minute-intermission' and 'Group B' means 'subjects watching test video after control video with a 30-minute-intermission'. Myopia was defined when the myopic refractive error was -1.0 diopter or greater. Hyperopia was defined when the refractive error was higher than 0 diopter. OD = right eye; OS = left eye.

Table 2. Mean tear break-up time of the right eye after watching control and test video (seconds)

	Baseline	After watching control video	After watching test video	p-value*
Total	6.50	5.76	5.97	0.633
Group A	5.92	5.24	5.54	0.565
Group B	7.18	6.31	6.34	0.857
p-value†		0.402	0.696	

'Group A' means 'subjects watching control video after test video with a 30-minute-intermission' and 'Group B' means 'subjects watching test video after control video with a 30-minute-intermission'.

*2-tailed paired t-test; †Repeated measured analysis of variance (ANOVA).

고찰

광 시험동영상 시청 후 대조 동영상 시청 후보다 더 낮았으나 그 차이는 통계적으로 유의하지 않은 정도였다(대조 영상 15.40점, 시험영상 12.85점, $p=0.10$). 단 무작위 배정 B군, 즉 대조영상을 먼저 시청하고 그 다음으로 저청색광 시험영상을 시청한 피험자군에서는 시험영상 시청 후 통계적으로 유의하게 낮은 눈 불편감 점수를 보여주었다(대조영상 18.65점, 시험영상 9.65점, $p<0.01$). 시험영상을 시청한 후 다음으로 대조영상을 시청한 A군에서도 시험영상 시청 후의 눈 불편감 척도가 산술적으로 낮았으나 통계적으로 유의하지는 않았다(16.34 vs. 11.89, $p=0.08$). 눈 불편 증상 시작시간에서는 전체 피험자군에서 대조 동영상에 비해 시험영상 시청 후에 눈 불편 증상이 유의하게 늦게 발현되었다(대조영상 후 23.48분, 시험영상 후 34.51분, $p<0.01$; Table 4).

인터넷프로토콜 TV로 서비스되는 영상의 눈피로도에 대한 영향을 비교한 본 연구의 결과, 청색광 배출도를 현저히 줄인 시험영상은 기존의 통상적인 영상에 비해 근거리 조절기능을 향상시키고 주관적 눈 불편감 지수를 낮추어 눈피로도 저하에 기여하는 것으로 나타났다. 본 시험 피험자 전체 일반에서 저청색광 시험영상이 균일한 유의적 효능을 보이지는 않았으나 선택적인 피험자군, 특히 원시 굴절력을 가진 피험자에 대해서는 우월한 유의적 근거리 눈 불편감, 피로도 완화효능을 보이는 것으로 분석되었다.

TV, 스마트폰, 태블릿, 컴퓨터 등 각종 디지털 미디어는 각결막표면의 건조, 충혈, 안구표면 보호기능의 악화를 초래하는 안구건조증뿐만 아니라 다양한 방식으로 눈 건강에 유해한 영향을 미칠 수 있다.⁸ 디지털 기기에 의한 가

Table 3. Monocular accommodation responses after watching control and test video (diopters)

	Baseline	After watching control video	After watching test video	<i>p</i> -value*
Right eye				
Total	1.27	1.26	1.29	0.769
Group A	1.38	1.37	1.40	0.652
Group B	1.10	1.15	1.17	0.881
<i>p</i> -value†		0.210	0.173	
Myopia	1.05	1.01	1.10	0.588
Hyperopia	1.77	1.70	1.92	0.041
<i>p</i> -value†		0.131	0.041	
Left eye				
Total	1.40	1.38	1.45	0.551
Group A	1.53	1.52	1.55	0.708
Group B	1.25	1.20	1.32	0.801
<i>p</i> -value†		0.252	0.201	
Myopia	1.20	1.18	1.25	0.333
Hyperopia	1.70	1.83	2.14	<0.001
<i>p</i> -value†		0.342	0.038	

*'Group A' means 'subjects watching control video after test video with a 30-minute-intermission' and 'Group B' means 'subjects watching test video after control video with a 30-minute-intermission'. Myopia was defined when the myopic refractive error was -1.0 diopter or greater. Hyperopia was defined when the refractive error was higher than 0 diopter.

*2-tailed paired *t*-test; †Repeated measured analysis of variance (ANOVA).

Table 4. The score of the ODAS and the earliest onset time of ocular fatigue after watching videos

	After watching control video	After watching test video	<i>p</i> -value*
Mean score of the ODAS			
Total	15.40	12.85	0.088
Group A	16.34	11.89	0.077
Group B	18.65	9.65	<0.001
Onset time of ocular fatigue (minutes)			
Total	23.48	34.51	<0.001
Group A	25.15	30.60	0.021
Group B	21.94	38.12	<0.001

*'Group A' means 'subjects watching test video, after control video' and 'Group B' means 'subjects watching control video, after test video'. ODAS = ocular discomfort analog scale.

*2-tailed paired *t*-test.

장 흔한 대표적인 눈의 이상은 이른바 디지털 눈긴장증(digital eye strain)이라 불리는 비특이적 증상군이다.¹ 디지털 기기의 사용자는 흔히 눈피로감, 압박감, 이물감, 통증, 시력흐림 등 다양한 눈의 불편증상을 호소하게 되며, 이를 통칭하는 디지털 눈긴장증은 대부분 안구 내 조절근의 피로, 긴장에 의한 조절기능의 약화, 혹은 눈모음, 눈별림기능의 조화이상과 관련된 안정피로에 의해 유발된다.⁹ 특히 이러한 디지털 미디어에서 배출되는 짧은 파장의 고에너지 청색광(415-455 μm)은 눈의 이상뿐만 아니라 멜라토닌 분비 감소, 코티솔 분비 증가, 체온 상승, 판단력 장애 등 전신적 이상을 유발함이 잘 알려져 있다.⁷ 청색광에 의한 망막 광독성도 잘 알려져 있는데, 백내장수술로 인공수정체안이 되면 청색광의 투과량이 증가되어 청색시를 느끼거나 나이관련 황반변성을 진행시킬 수 있어 이를 억제하기 위한 청색광 차단 인공수정체(blue light-filtering intraocular lens)의 사용이 1990년대 이후 이미 보편화되었다.¹⁰ 최근의 한 연구에서는 망막색소상피증, 진행된 황반변성 환자에서 청색광을 선택적으로 차단하는 안경을 착용함으로써 시지각능력이 개선되었다는 결과발표도 있었다.¹¹ 그러나 건강한 성인뿐 아니라 시기능이 성숙하지 않은 어린이나 건강상의 문제로 실내에서 장시간 거주하는 노인층에 대해서는 장시간 TV를 시청할 때 초래될 수 있는 청색광에 의한 눈건강 폐해에 대해서 아직 구체적으로 알려진 바가 적은 실정이다. 특히 나이가 들수록 수정체내의 노란색 발색단(chromophore)이 증가하여 단파장의 고에너지 빛 투과율을 감소시켜 청색광이 망막에 도달하는 것을 막을 수 있으나,¹² 어린이의 경우에는 청색광의 투과율이 어른보다 높아 망막광독성의 위험이 높고, 수면리듬, 심리정서, 내분비 대사 기능에 대한 위험에 더욱 취약할 것으로 추정된다. 본 연구에서는 이에 착안하여 14세 이하 피험자와 전체 피험자 간의 타각적 눈피로감 지표를 비교하였으나 연령에 따른 유의한 차이를 보이지는 않았다. 그러나 본 연구에서는 1시간, 즉 비교적 짧은 시간 동안만 TV 영상 청색광에 노출된 조건에서 시험하였으므로, 더 장시간, 장기간에 걸친 누적 노출 후에 어떠한 영향을 초래할지에 대해서는 본 연구의 결과 그대로 유추할 수는 없을 것으로 판단된다. 보다 면밀한, 장기적 추적 연구결과가 도출될 때까지는 어린이, 노령인구, 그리고 망막질환자에 대해서는 과도한 장시간의 청색광 노출을 줄이는 것이 합리적이라고 판단된다.

본 연구에서 확인된 근거리 조절력은 평균 1.3-1.4D의 범위였고 근시 피험자에서는 조절력이 1.1-1.2D로 상대적으로 낮았으며 원시 피험자에서는 1.7-1.8D 범위로 상대적으로 높았다. 근시가 있는 경우 해당 작업거리에서의 적

정한 조절력이 충당되지 못하는 조절지연(lag of accommodation)이 뚜렷하고 원시의 경우에는 그렇지 않다는 익히 알려진 이론과 일치하는 결과였다. 눈 앞 40 cm 거리의 조절시표를 선명히 주시하고자 할 때, 2.5D의 조절력이 동원되는 것이 이론적으로 합당하나 개방형 자동굴절검사계(open field autorefractor)로 작업거리를 달리하며 측정된 40 cm에서의 실제 조절력은 이 요구량보다 적게 나타났다. 원거리 주시 후 근거리 물체를 다시 주시할 때 동원되는 조절력에는 원거리 굴절력과 근거리시표에 대한 집중도가 영향을 미치므로, 본 시험에서도 이들 요인이 영향을 주었다고 판단된다. 흥미롭게도 본 연구에서 원거리 굴절력이 원시인 피험자는 특히 저청색광 시험영상 시청 후에 오히려 시청 전보다 근거리 조절력이 향상되었으며 대조영상 시청과 비교해서는 현저히 우월한 근거리 조절력을 보여주었다. 눈피로가 심해지고 눈긴장도가 증가하면 근거리 조절력이 감퇴되고, 조절력이 낮을수록 근거리 시표를 선명히 보기 힘든 상태를 의미하므로, 원시 피험자의 경우 저청색광 영상 시청 후에 오히려 눈의 긴장도가 완화되었고, 통상의 TV 영상 시청과 비교해서는 유의하게 낮은 눈피로도가 초래된다고 해석할 수 있을 것이다. SMI Eye Tracking Glasses 2 Wireless (Sensory Motoric Instruments, Teltow)를 통한 시선추적검사 결과에서도 통상 영상에 비해 저청색광 영상 시청 후에 더 높은 눈깜박임 횟수가 유지되었다. 이 기기는 안경 방식으로 착용할 수 있으며, 모바일 기구로서 인터페이스와 실험 조작이 비교적 간단하고 calibration point가 1-3개로 10초 이내의 빠른 속도로 calibration이 가능하며, 실시간으로 피험자의 시선 움직임을 파악할 수 있다는 장점이 있다. 시선추적검사를 통해 신속운동(saccade)과 재주시운동(re-fixation), 눈깜박임 횟수를 알 수 있으며 눈피로도가 증가할수록 신속운동의 속도가 감소하며 이향운동 이상(vergence error)의 횟수를 증가시켜 재주시운동의 수가 증가하고, 눈깜박임 횟수가 늘어나게 된다.¹³ 눈깜박임 횟수가 적을수록 눈 피로가 증가하고 안구표면손상 위험이 높아진다는 점을 감안하면, 이 역시 저청색광 영상이 통상의 TV 영상에 비해 눈 피로를 덜 초래할 수 있음을 지지하는 결과라고 해석된다.

주관적인 눈불편감척도(ODAS) 점수 결과는 영상 시청 순서에 따라 눈피로감의 차이를 보였는데, 대조 동영상을 먼저 시청하고 그 다음 저청색광 시험동영상을 시청한 피험자군에서 유의하게 눈불편감이 적은 결과를 보여주었다. 여기에는 새로운 선택 대안이 기존 대안 다음에 두 번째로 소개되었을 때 그 속성의 차별성이 더 드러나는 이른바 선택맥락효과가 작용하였을 것으로 판단된다. 두 영

상의 속성 차이가 더 현저히 드러날 때 통상의 TV 영상에 비해 피험자들은 부드러운 색감의 시험영상이 눈불편감이 적다고 느낀 것으로 추론된다.

본 연구의 한계점으로는 검사 대상의 연령 중앙값이 28.5세로 비교적 젊은 연령이 많이 포함되어 전체 인구에 대한 대표성이 낮을 수도 있다는 점을 들 수 있다. 추후 후속 연구에서는 사전 계획단계에서부터 각 연령대별로 일정한 수를 목표 할당하여 충분한 피험자 수를 모집 후 연구를 시행하는 방법으로 이 취약점을 극복할 수 있을 것이다. 연령대별 피험자의 수가 균등하게 배분되지 못해서 본 연구에서는 시기능 취약군인 어린이에 대한 TV 영상의 영향을 타 연령대 피험자와 체계적으로 비교하는 데 한계를 보였다. 두 번째 한계점으로는 두 종류의 영상을 연속적으로 시청하게 하는 방법을 채택하였기 때문에 시간이 감에 따라 눈피로가 누적되고 두 번째로 시청하게 되는 영상에 대해서는 눈피로도가 더욱 크게 나타날 가능성이 있다는 점이다. 우리는 이러한 문제점을 최소화하기 위해 A군과 B군으로 피험자를 무작위로 배정하였고 두 영상 시청 사이에 30분의 휴식을 통해 눈의 상태가 시청 전 상태에 가능한 한 가깝게 복원될 수 있도록 배려했다. 본 시험의 목적은 두 영상 시청 후 자각적, 타각적 결과의 상대적인 비교에 있으므로, 영상 시청을 위한 피험자의 방문을 이틀에 걸쳐 나누거나 방문 횟수를 늘리면 오히려 피험자의 주관적 상태가 그때그때 달라지고 따라서 정확한 비교가 이루어질 수 없다고 판단되어 본 연구에서는 연속 시청방법을 채택하였다. 피험자군을 분리하여 한 군은 시험영상을, 다른 군은 대조영상을 시청하도록 하는 방법도 피험자에 따른 본연의 감각 주관성을 배제할 수 없으므로 영상 종류에 따른 피로도의 주관적 차이를 제대로 대변할 수 없을 것으로 판단하였다. 결론적으로, 본 연구의 결과 청색광 배출을 줄인 인터넷 TV 시험영상은 통상의 영상에 비해 주관적 눈불편감, 피로도를 완화시킬 수 있었으며, 특히 원시 피험자에서는 근거리 조절기능을 향상시켜 눈의 긴장도, 피로도를 유의하게 감소시키는 방향으로 작용하였다.

REFERENCES

- 1) Rosenfield M. Computer vision syndrome. *Optometry in Practice* 2016;17:1-10.
- 2) Moon JH, Kim KW, Moon NJ. Smartphone use is a risk factor for pediatric dry eye disease according to region and age: a case control study. *BMC Ophthalmol* 2016;16:188.
- 3) Pollack A, Marcovich A, Bukelman A, Oliver M. Age-related macular degeneration after extracapsular cataract extraction with intraocular lens implantation. *Ophthalmology* 1996;103:1546-54.
- 4) Lee HS, Cui L, Li Y, et al. Influence of light emitting diode-derived blue light overexposure on mouse ocular surface. *PLoS One* 2016;11:e0161041.
- 5) Osborne NN, Núñez-Álvarez C, Del Olmo-Aguado S. The effect of visual blue light on mitochondrial function associated with retinal ganglions cells. *Exp Eye Res* 2014;128:8-14.
- 6) Tosini G, Ferguson I, Tsubota K. Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. *Mol Vis* 2016;22:61-72. eCollection 2016.
- 7) Heo JY, Kim K, Fava M, et al. Effects of smartphone use with and without blue light at night in healthy adults: a randomized, double-blind, cross-over, placebo-controlled comparison. *J Psychiatr Res* 2017;87:61-70.
- 8) Bando T, Iijima A, Yano S. Visual fatigue caused by stereoscopic images and the search for the requirement to prevent them: a review. *Displays* 2012;33:76-83.
- 9) Kim SH, Suh YW, Song JS, et al. Clinical research on the ophthalmic factors affecting 3D asthenopia. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 2012;49:248-53.
- 10) Sparrow JR, Miller AS, Zhou J. Blue light-absorbing intraocular lens and retinal pigment epithelium protection in vitro. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:873-8.
- 11) Colombo L, Melardi E, Ferri P, et al. Visual function improvement using photocromic and selective blue-violet light filtering spectacle lenses in patients affected by retinal diseases. *BMC Ophthalmol* 2017;17:149.
- 12) Lee GY, Kim IG, Yu S, et al. Intraindividual comparison of visual outcomes between blue light-filtering and ultraviolet light-filtering intraocular lens. *J Korean Ophthalmol Soc* 2017;58:34-42.
- 13) Iatsun I, Larabi MC, Maloigne CF. Investigation and modeling of visual fatigue caused by S3D content using eye-tracking. *Displays* 2015;39:11-25.

Appendix 1. Ocular discomfort analog scale (ODAS)

피험자 번호: _____

TV 시청 후 눈 불편감 측정

다음은 TV 시청 도중 혹은 시청 후 주관적으로 느낀 눈의 불편함 정도를 평가하는 조사입니다. 아래의 각 질문에 대해 본인이 느낀 불편함의 정도를 0~10 척도 중 해당되는 위치에 표기하여 주십시오

Metric Scaling of Ocular Discomfort

- 1) 눈이 쉬 부시다(photophobia)
전혀 그렇지 않다 _____ 가장 심하다 _____
0 ---- 1 ---- 2 ---- 3 ---- 4 ---- 5 ---- 6 ---- 7 ---- 8 ---- 9 ---- 10
- 2) 눈이 눌리거나 조여든다(tightness or pressure around the eye)
0 ---- 1 ---- 2 ---- 3 ---- 4 ---- 5 ---- 6 ---- 7 ---- 8 ---- 9 ---- 10
- 3) 눈이 건조하고 마르다(eye dryness)
0 ---- 1 ---- 2 ---- 3 ---- 4 ---- 5 ---- 6 ---- 7 ---- 8 ---- 9 ---- 10
- 4) 이물감이 든다(foreign body sensation)
0 ---- 1 ---- 2 ---- 3 ---- 4 ---- 5 ---- 6 ---- 7 ---- 8 ---- 9 ---- 10
- 5) 눈이 따갑거나 타는 듯하다(burning/stinging)
0 ---- 1 ---- 2 ---- 3 ---- 4 ---- 5 ---- 6 ---- 7 ---- 8 ---- 9 ---- 10
- 6) 눈이 침침하고 뿌옇게 보인다(blurred vision)
0 ---- 1 ---- 2 ---- 3 ---- 4 ---- 5 ---- 6 ---- 7 ---- 8 ---- 9 ---- 10
- 7) 눈의 피로감이 느껴진다(eye fatigue)
0 ---- 1 ---- 2 ---- 3 ---- 4 ---- 5 ---- 6 ---- 7 ---- 8 ---- 9 ---- 10
- 8) 마지막으로, 위 1)~7)의 증상 중 어느 한 가지라도 나타나기 시작한 시간을 적어 주십시오.
시청 시작 후 _____ 분

= 국문초록 =

청색광 배출도를 조절한 인터넷 텔레비전 영상의 눈피로도 감소효과

목적: 청색광 배출도를 낮춘 인터넷 television (TV) 영상이 눈피로도를 줄일 수 있는지 조사하였다.

대상과 방법: 건강한 피험자 98명을 대상으로 동일 애니메이션 영화로부터 추출한 원본 동영상(대조영상)과 저청색광 동영상(시험영상)을 무작위 순서에 따라 1시간씩 온도, 습도, 조도가 동일한 공간에서 시청하도록 하였다. 영상 시청 전과 후, 객관적 척도로서 원거리·근거리 굴절력과 눈물막파괴시간을 측정하였다. 주관적 척도로서 별도로 고안된 눈불편감척도를 이용하여 동영상 시청 후 눈불편감척도와 눈불편시작시간을 측정하였다.

결과: 피험자 98명의 연령 중앙값은 28.5세였고(7~47세) 그중 여성이 56명이었다. 영상시청 전 피험자의 원거리 및 근거리 굴절력은 각각 평균 -1.57D, -2.79D였고 대조영상 시청 후 -1.60D, -2.83D, 시험영상 시청 후 -1.58D, -2.87D로 유의한 차이가 나지 않았다. 그러나 근원거리 굴절력의 변화량, 즉 근거리시표 주시 조절력은 원시피험자(37명)에 한하여, 시험영상 시청 후 대조영상 시청 후에 비해 통계적으로 유의하게 우수하였다(대조영상 1.83D, 시험영상 2.14D, $p<0.01$). 눈물막파괴시간은 시청 전 평균 6.50초에서 대조영상 시청 후 5.76초, 시험영상 시청 후 5.97초로 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다. 눈불편감척도는 대조영상에 비해 시험영상 시청 후 낮은 값을 보였으나 통계적으로는 유의하지 않았다(15.40 vs. 12.85, $p=0.10$). 눈불편증상이 시작된 시간은 시험영상 시청 후 유의하게 늦었다(평균 23.48분 vs. 34.51분, $p<0.01$).

결론: 청색광 배출을 줄인 인터넷 TV 시험영상은 통상의 영상에 비해 주관적 눈불편감, 피로도를 완화시키는 경향성을 보였으며, 특히 원시 피험자에서는 근거리 조절기능을 적정수준으로 유지시킴으로써 눈피로도 감소에 기여할 수 있는 것으로 분석되었다.

〈대한안과학회지 2018;59(3):230-237〉