

Study of Change of Fatigue and Visual Function before and after Viewing 2D and 3D at Near Distance

Hyungoo Kang^{1,2}, Soojin Oh¹, Yeonjung Kim¹, and Hyungki Hong^{1,*}

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

²Dept. of Optometry, Kookje College, Pyung-Tak 17731, Korea

(Received January 25, 2017; Revised June 13, 2017; Accepted June 20, 2017)

Purpose: Change of the fatigue and the visual function after watching 2D and 3D movies at near distance in 3D notebook computer was analyzed using Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) and the visual function test. **Methods:** 15 subjects (8 male and 7 female) with the normal visual function, normal stereopsis with stereo visual acuity higher than 60 arc sec, uncorrected and corrected visual acuity of better than 1.0 (Participants who wear eyeglass or contact lens were excluded.), age range of 23~33 years (average age of 25.67 ± 1.6 years) were selected as participants. Participants watched 2D or 3D movies for 90 minutes on 3D notebook of the diagonal size of 15.6 inch at the distance of 0.5 m. Before and at 30, 60, 90 minutes during watching movies, fatigues using SSQ and the visual functions (phoria at far and near, fusional vergence and accommodation ability) were measured and analyzed. **Results:** In the fatigue survey between before and at 30 minutes during watching movies, there was no difference between 2D and 3D. However at 60 minutes, score of 'difficulty concentrating' was statistically significantly increased in viewing 3D ($p = 0.036$). At 90 minutes, scores of 'difficulty concentrating' ($p = 0.011$), 'dizzy' ($p = 0.023$), 'stiff neck' ($p = 0.028$), 'sleepy' ($p = 0.030$), 'eyeache' ($p = 0.027$), 'vertigo' ($p = 0.014$) were statistically significantly increased in viewing 3D. In visual function test, statistical significant change occurred at Accommodation facility, Near point of convergence, Amplitude of accommodation, but no abnormal change occurred. **Conclusions:** Watching 3D until 30 minutes at near distance, there was no noticeable difference of fatigues compared with viewing 2D. However we need pay attention when we watch 3D more than 30 minutes.

Key words: 3D display, Near distance, Fatigue, Visual function

서론

3D 표시 장치 및 영상이 보급되면서 우리 눈에 미치는 영향과 피로도에 관한 연구가 시과학, 인간공학, 심리학, 뇌 과학 등 다양한 분야에서 진행되었다.^[1-4] 기존의 시각 피로와 멀미 등에 관한 연구를 살펴보면 주로 2D 영상보다 3D 시청 시 피로가 발생한다고 알려져 있다. 2012년의 Yang 등의 연구에 따르면 약 3 m에서 90분간 영상을 3D로 시청할 때 2D 영상에 비해 더 큰 몰입감을 주지만 시각피로와 멀미를 유발한다고 하였으며,^[5] 같은 해 Yoon 등의 연구에서도 2.7 m 원거리에서 65분간 2D와 3D 영상을 시청했을 때 2D 영상에서보다 3D 영상에서 피로도가 더 크게 나타난다고 하였다.^[6] 2013년의 Solimini의 의한 연구에서도 497명을 대상으로 실험했을 때 3D에서 약 3~4배 더 멀미를 느낀다고 나타났다.^[7] 이렇듯 과거에는 짧은

시간 사용에도 시기능 및 피로도에 영향을 미친다고 보고되어 왔다.

그러나 3D 영상 표시장치의 발전,^[8] 영상의 질 개선,^[9] 휴먼 팩터^[10] 등에 관한 연구가 진행되었으며, 최근의 연구들을 살펴보면 약 2~3 m의 원거리 시청에서는 3D 영상 시청 시 모두 시기능 및 피로도에 큰 문제가 없고 불편함이 발생하지 않음이 알려지고 있다. 2013년 Pölönen 등의 연구에서 2.3 m의 원거리 3D 영상 시청 시 성인과 어린이 상관없이 2시간의 정도의 시청은 큰 불편함을 초래하지 않는다고 하였다.^[11] 2016년 Kang 등의 연구에 의하면 2.5 m 원거리에서 30분간 2D, 3D 영상을 시청하였을 때 시기능과 피로도 모두 유의한 차이가 발견되지 않았다.^[12] 2016년 Read 등의 2.5 m 거리에서 80분간 3D 영상 시청 후 시각 운동 조정력과 균형 잡기에서도 문제를 발생시키지 않음을 보고하였다.^[13]

*Corresponding author: Hyungki Hong, TEL: +82-2-970-6232, E-mail: hyungki.hong@snut.ac.kr

본 논문의 일부내용은 2016년도 한국안광학회 하계학술대회에서 포스터로 발표되었음.

3D 극장, 3D TV와 같이 원거리에서 시청하는 3D 영상 표시 장치의 상용화 이후 최근에는 노트북,^[14] 스마트폰,^[15] 휴대용 게임기^[16] 등 근거리에서 시청하는 작은 화면의 3D 영상 표시 장치가 상용화되었기 때문에 근거리에서의 3D 시청에 대한 평가가 요구된다. 2012년에 Kim 등의 연구에 의하면 30분간 3 m 거리에서 3D 영상 시청 후 원거리에서 약 1.0~1.5 Δ 정도, 근거리에서 약 1.5~2.0 Δ 정도 외사위로 증가하는 경향을 보였으며, 3D 영상에서 안정피로가 더 심하게 발생한다고 하였다.^[17] 2013년의 Kim 등의 연구에 의하면 1 m 거리에서 30분간 시청한 후에 2D와 3D에서 모두 조절력의 감소, 안정피로의 증가를 보고하였다.^[18] 2015년의 Son 등의 연구에 따르면 1 m에서 30분간 3D 영상을 시청하였을 때, 원근거리 모두 사위량이 외사위 방향으로 점진적으로 증가하여 폭주 부족의 경향을 보였으며 시청 중지 후 20~25분 정도에 시청 전 수준으로 회복하였다.^[19]

기존 보고에서 원거리에서 시기능과 피로도에서 유의한 차이가 발생하지 않은 실험 조건^[11,13]과 근거리 실험 조건은 다르기 때문에 원거리와 근거리 결과를 비교하기에 한계가 있으며, 기존 보고의 0.7~1 m 거리의 근거리 조건들은 일반적인 휴대용 기기의 시청 거리와 차이가 있다.^[17-19] 그리고 대부분 3D 영상 시청 전·후 시기능 분석에 대한 실험 조건은 30~1시간 정도의 비교적 짧은 시간으로 실험이 진행되었음을 알 수 있다.^[6,17-21] 따라서 본 연구에서는 원거리에서 시기능과 피로도에서 유의한 차이가 발생하지 않은 Kang 등의 연구 조건^[12]과 유사한 실험 영상과 피로도 평가 법을 사용하여, 0.5 m의 근거리 시청 환경에서 2D와 3D 영상을 장시간(90분) 시청하였을 때 피로도와 시기능에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 실험대상

본 실험 대상은 양안 교정 및 나안 시력이 1.0 이상(정시 및 콘택트렌즈 착용자, 안경 착용자 제외)인 23-33세(평균연령 25.67±1.6세)의 피검자 15명(남 8명, 여 7명)을

대상으로 하였다. 사시와 부등시 등 특별한 안과 질환 및 전신 질환이 없고, 근거리 입체시력 60 초(sec) 이상으로 입체영상 시청에 무리가 없는 피검자들을 대상으로 진행했다.

2. 검사방법

실험 기기로 편광안경 방식 3D를 사용하는 LG 전자의 15.6 인치(34.6×19.4 cm) 노트북(X-NOTE A530)을 사용했다. 실험실의 조도는 50 lux, 시청거리는 근거리 조건인 0.5 m로 하였다. 영상 시청을 방해할 수 있는 요소 차단 및 영상 집중도를 높이기 위해 광택이 없는 검은색의 차단막(60×60×90 cm)을 사용했다(Fig. 1). 스크린의 위치는 피검자의 눈높이에 맞게 조정하였으며, 시청 화면이 시야에서 차지하는 각도는 수평방향으로 34.68° 이었다.

실험에 사용된 영상은 아바타(Avatar, 2009년)와 어벤저스(The Avengers, 2012년)의 처음부터 90분까지이다. 시청 순서는 2D 및 3D의 영향을 배제하기 위해 실험 대상자의

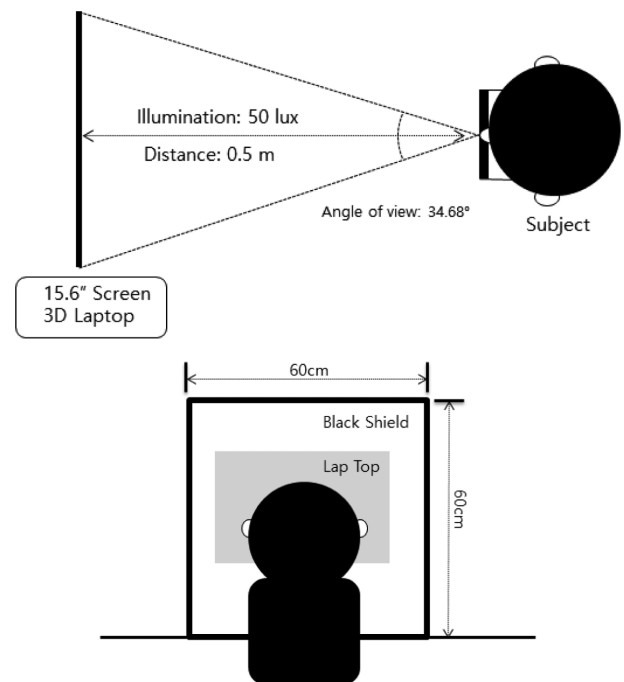


Fig. 1. Experimental setup.

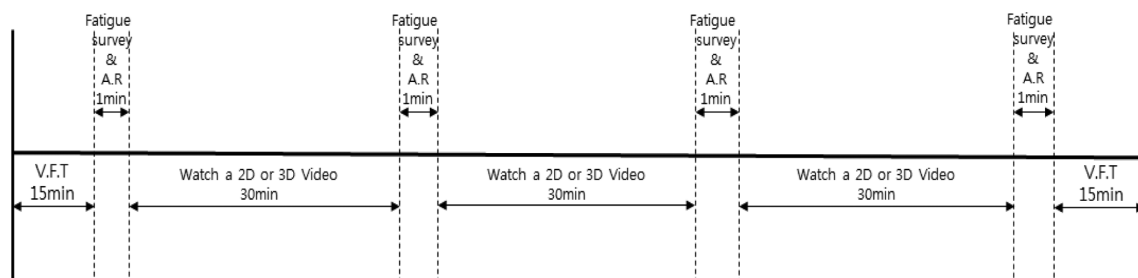


Fig. 2. Schedule of experimental procedure. (V.F.T. = Visual Function Test, A.R. = Auto Refractometer)

Table 1. List of visual function test

List of visual function test
Horizontal and vertical phorias, Fusional vergence, Vergence facility, Near point of convergence, Relative accommodation, Amplitude of accommodation, Accommodative facility, Accommodative lag, Stereopsis.

절반은 2D를 먼저 시청 한 후 3D를 시청하였으며 나머지 절반은 3D 영상 시청 후 2D 영상을 시청하였다. 첫 번째 영상 시청 후 7일간의 휴식 시간을 둔 후에 두 번째 영상을 시청했고 모든 영상은 한글 자막과 함께 상영되었다 (Fig. 2).

3D 영상을 근거리에서 시청할 경우 시기능과 피로도에 미치는 영향을 수치화하기 위하여 실험 전, 영상 시청 중 30분, 60분, 90분 간격으로 총 4차례의 피로도 설문지와 AR 측정을 하였고 실험 전·후 총 2 차례의 시기능 검사를 시행하였다. 시기능 검사는 크게 이항 운동 기능 검사와 조절 기능 검사로 나눌 수 있다. 이항 운동 기능검사에서는 수정된 토링톤 차트를 이용한 원·근거리 사위, 원·근거리 개산 및 폭주 융합 여력, 3 Δ B.I.과 12 Δ B.O. 플리퍼를 이용한 버전스 용이성, 계산 및 경사 조절성 폭주 비 (AC/A), 폭주 근점을 검사하였고 조절 기능 검사에서는 push-up 방법을 통한 최대 조절력, 상대 조절, ±2.00 D 플리퍼를 이용한 조절 용이성, Open-view autorefractometer를 이용해 조절 래그를 측정하였다(Table 1).

3. 피로도 설문

Kuze 등의 연구를 참고해 본 연구는 보완된 SSQ 설문지의 5가지 범주, 28개의 평가항목을 사용하여 진행하였다. Table 2의 보완된 SSQ(Simulator Sickness Questionnaire) 설문지는 MSQ(the Pensacola Motion Sickness Questionnaire)에서 발전된 방법으로서 Kennedy 등에 의해 개발되었다.^[22]

Table 2. Questionnaire for evaluating visual fatigue

List of fatigue survey	
Eyestrain	Blurry, Dry eye, Eyestrain, Gritty, Pain in the eye, Sting, Eye heavy, Hazy, Warm eyes, Flickering, Watery eyes.
General discomfort	Feeling heavy in the head, Difficulty concerning, Dizzy, Stiff neck, Sleepy, Feel heavy, Stiff shoulder.
Nausea	Vomiting, Vertigo, Nausea
Focusing	Difficulty focusing, Double vision, Near vision difficulty, Far vision difficulty.
Headache	Pain in the temple, Pain in the middle of the forehead, Pain in the back of the head.

Table 3. Score of seven subjective ranking assesment

Score	Degrees of symptoms
7	very severe symptoms
6	severe symptoms
5	moderately severe symptoms
4	moderate symptoms
3	slight symptoms
2	minor symptoms
1	asymptomatic

피로도는 최소 1 점에서 최대 7 점으로 평가되었다. 1 점은 무증상으로서 해당 항목에 대해 전혀 자각하지 못한다는 뜻이며 7 점은 매우 심각한 증상을 뜻한다. 영상 시청 전후 및 시청 중 30분 간격으로 피검자가 직접 응답하여 증상 변화를 평가하였다. 피로도 설문지로 평가한 7 가지 수준은 Table 3과 같다.

4. 통계 분석

자료 분석은 SPSS의 paired t-test를 사용하여 시기능 데이터의 경우 실험 전·후 데이터를 비교하였으며, 피로도의 경우 실험 전, 실험 30분, 60분, 90분 후로 나누어 2D와 3D의 측정 결과를 비교 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 피로도

2D 시청 후와 3D 시청 후의 피로도 차이를 비교했을 때 피로도 검사의 28가지 항목 중 7가지 항목에서 유의한 차이를 보였다.

5가지 범주 중 일반적인 불편함 범주에서는 시청 후 30분에서는 2D에 비해 3D 영상 모든 항목에서 유의한 차이를 보이지 않았다. 하지만 시청 60분 후 집중하기 어려움(difficulty concentrating) 항목 차이 값은 0.73 ± 1.23 ($p = 0.036$)로 유의하게 더 큰 것으로 나타났으며, 90분 시청 후 2D, 3D의 차이는 집중하기 어려움(difficulty concentrating) 1.13 ± 1.51 ($p = 0.011$), 어지러움(dizzy) 1.13 ± 1.73 ($p = 0.023$), 목이 뻣근함(stiff neck) 0.73 ± 1.163 ($p = 0.028$), 그리고 졸림(sleepy) 1.07 ± 1.71 ($p = 0.030$)로 유의하게 차이 나는 것으로 나타났다. 전반적인 불편함(General discomfort) 범주의 거의 모든 항목에서 2D에 비해 3D의 값이 점진적으로 증가하며 그 증가폭이 큰 것을 볼 수 있었다(Fig. 3).

5가지 범주 중 눈의 불편함에서는 2D와 3D 영상 시청 시작부터 30분, 60분의 모든 항목에서 유의한 차이가 없었다. 하지만 90분 시청 후 눈의 통증(pain in the eye)은 0.53 ± 0.83 ($p = 0.027$)로 유의하게 더 큰 것으로 나타났다. 눈의 건조함(dry eye), 눈의 피로함(eyestrain), 눈의 이물감

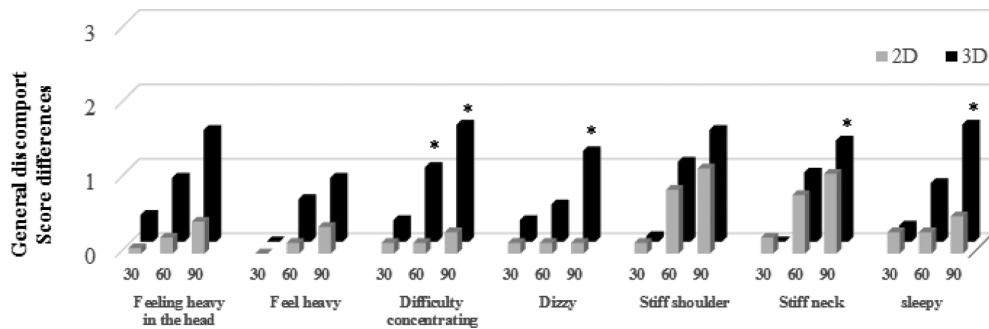


Fig. 3. SSQ score difference changes in general discomfort category. Statistical significant differences between 2D and 3D were noted by *.

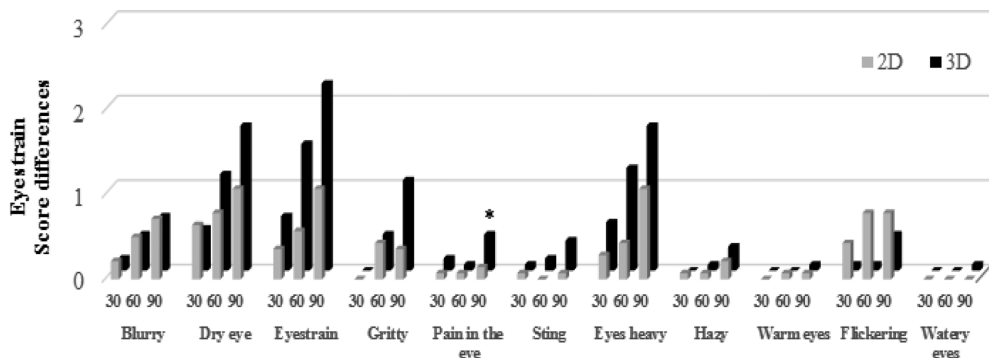


Fig. 4. SSQ score difference changes in eyestrain category. Statistical significant difference between 2D and 3D was noted by *.

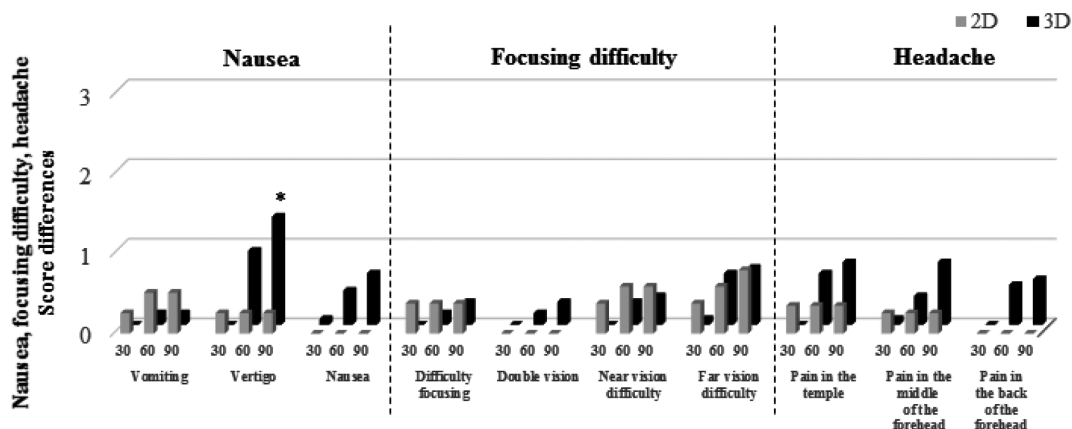


Fig. 5. SSQ score difference changes in nausea, focusing difficulty, headache category. Statistical significant difference between 2D and 3D was noted by *.

(gritty), 눈의 졸림(eyes heavy) 항목은 2D 값보다 3D 값이 점진적으로 증가하고, 통계적으로 유의하진 않으나 그 차이가 조금 더 큰 경향을 나타냈다. 그 외 나머지 항목들은 2D와 3D의 피로도 변화 양상이 비슷하게 나타났다 (Fig. 4).

Fig. 5는 메스꺼움, 집중력, 두통의 3가지 범주의 결과이다. 30분 시청 후 메스꺼움 범주의 구토(vomiting), 현기증(vertigo), 메스꺼움(nausea) 3가지 항목 모두 유의한 차이를 보이지 않았다. 60분 시청 후 현기증 항목에서 0.80 ± 1.52 ($p = 0.061$) 차이로 3D에서 더 큰 것으로 나타났다. 90분 시청 후에는 현기증 항목이 3D에서 1.20 ± 1.66 ($p = 0.014$)

로 유의하게 큰 것을 확인하였다. 또한 메스꺼움 항목에서도 2D에 비해 3D에서 시간에 따라 증가하는 경향을 확인할 수 있는데 이는 임상적으로 근거리에서 3D 영상 시청이 어지러움이나 메스꺼움을 유발할 수 있음을 나타낸다. 집중력(focusing difficulty) 범주의 2D와 3D의 유의한 차이점은 발견되지 않았다. 두통(headache) 범주에서는 관자놀이, 앞이마, 뒤통수의 두통 3가지 항목 모두 유의한 차이는 없었다. 다만 이 3가지 항목에서 2D의 값보다 3D의 값이 점진적으로 증가하는 경향을 볼 수 있다.

최근의 3D 시청에 관한 연구들을 살펴보면 원거리에서 3D 영상을 볼 때 60분 이상의 시청에도 불편감이 크지 않

Table 4. Statistically significant visual function test results before and after watching movies.(*: $p < 0.05$ by paired t-test)

Visual function	2D			3D		
	Pre	Post	p-value	Pre	Post	p-value
N.P.C. (cm)	6.46±2.51	7.77±3.26	0.039*	6.33±2.76	7.11±2.47	0.012*
A.A.(O.D.) (D)	11.83±2.02	11.50±1.48	0.371	13.26±3.06	11.75±2.25	0.028*
A.F.(O.S.) (cycle/min)	12.80±4.55	14.33±5.31	0.011*	13.13±3.91	13.27±5.87	0.884

N.P.C. = Near point of convergence.

A.A. = Amplitude of Accommodation.

A.F. = Accommodative facility.

다고 알려져 있다.^[11,13] 본 연구와 동일한 영상을 이용한 Kang 등의 결과에서는 30분까지 불편감이 크지 않았다.^[12] 하지만 본 연구의 결과를 살펴보면 근거리에서 3D 영상을 시청할 시에는 시청 30분까지는 피로도가 크지 않았으나, 시청 60분 후부터, 2D를 시청했을 때 보다 다수의 항목에서 피로도가 크게 나타났으며, 이는 시청 시간이 길어질수록 증가하는 경향을 보였다. 즉, 원거리와 비교해 근거리 시청 시 비교적 짧은 시간에 피로가 발생할 가능성이 큼을 알 수 있다.

원거리 영상에 비해 근거리 실험 조건에서 피로도가 더 크게 발생한 원인을 살펴보면, 근거리 실험의 0.5 m, 원거리 실험의 2.5 m, 3 m에 위치한 영상 표시 장치의 조절 자극량은 각각 약 2, 0.4, 0.33 디옵터(D)로, 근거리 영상 시청 시 요구되는 조절량이 원거리에 비해 큰 것을 알 수 있다. 그러므로 영상 표시 장치의 스크린 위치 보다 상이 앞으로 튀어나오거나, 뒤로 떨어져 보이는 입체 영상에 의한 조절 자극은 원거리보다 근거리에서 더 크게 지각될 수 있다. 따라서 원거리와 비교하여 근거리에서 초점 심도를 벗어나는 3D 영상을 더 빈번하게 시청할 가능성이 높기 때문에 3D 멀미의 원인 중 하나인 조절-폭주의 불균형 문제와 연관되어 피로가 발생했음을 추론할 수 있다.^[23-25] Ukai 등^[23]과 Lee 등^[24]의 연구를 살펴보면 3D 영상을 시청할 경우 우리 눈은 스크린이나 영상의 위치에 맞춰 조절하는 반면, 이항 운동인 폭주와 개산의 경우 영상 시차에 맞춰 매 순간 변하게 되어 조절과 폭주의 불일치가 발생하는 것으로 알려져 있다. 3D 영상의 양안 시차가 크지 않은 경우 조절과 폭주는 비교적 비슷한 위치에 반응하여 영상 시청에 큰 무리를 주지 않지만, 양안 시차가 커지는 경우 조절과 폭주의 불일치가 크게 되어 3D 영상으로 인한 피로가 발생되는 것이다. 또한 Okada 등에 의한 연구에 따르면 이러한 경향은 영상이 더 선명할수록, 조절 자극량이 클수록 심해질 수 있다고 하였다.^[25]

2. 시기능 변화

시기능 검사에서는 14가지 항목 중 폭주 근점, 최대 조절력, 조절 용이성의 3가지 항목에서 유의한 변화가 있었

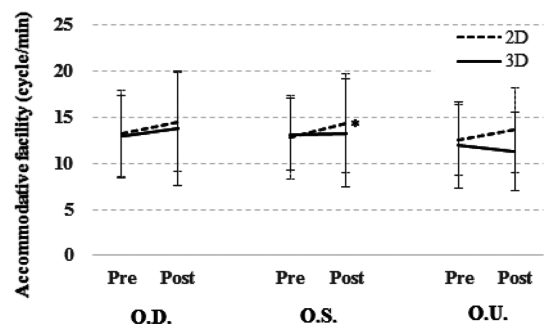


Fig. 6. Results of Accommodative facility after watching 2D and 3D movies. Statistical significant difference between before and after watching movie was noted by *.

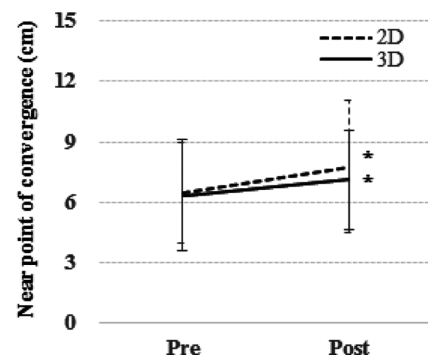


Fig. 7. Results of Near point of convergence before and after watching 2D and 3D movies. Statistical significant difference between before and after watching movie was noted by *.

다(Table 4).

조절 용이성(Accommodative facility) 항목은 단안(O.S.)에서 2D 시청 전 12.80±4.55 cycle/min, 시청 후 14.33±5.31 cycle/min으로 유의한 차이를 보였다($p = 0.011$), (Fig. 6).

폭주 근점(Near point of convergence) 항목은 2D 시청 전 6.46±2.51 cm, 시청 후 7.77±3.26 cm로 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p = 0.039$). 또한 3D 시청에서도 전 6.33±2.76 cm, 시청 후 7.11±2.47 cm로 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p = 0.012$) (Fig. 7).

최대 조절력 (Amplitude of accommodation) 항목은 단안(O.D.)에서 3D 시청 전 13.26±3.06 D, 시청 후 11.75±2.25 D로

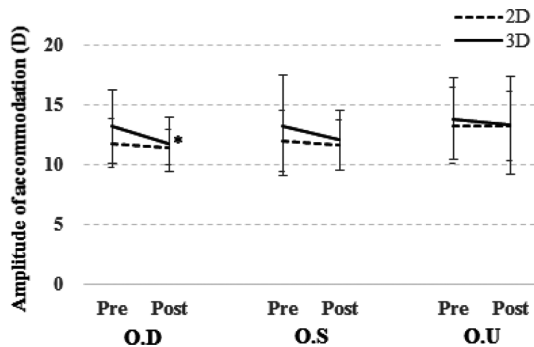


Fig. 8. Results of Amplitude of accommodation before and after watching 2D and 3D movies. Statistical significant difference between before and after watching movie was noted by *.

유의한 차이를 보였다($p=0.028$). 2D 시청 전, 후 그리고 3D 시청 시 좌안에서는 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 8).

2D와 3D 영상 시청 후 시기능 변화를 살펴보면 폭주 근점은 2D와 3D 근거리 영상 시청 전, 후 모두 증가하였고, 2D에서 좌안 조절 용이성의 증가, 3D에서는 우안의 최대 조절력이 유의하게 감소하였다. 이 3가지 항목에서 통계적 유의차는 있으나 변화 폭이 크지 않았다. 3가지 항목 외에 원거리 및 근거리 수평·수직 사위, 음성 및 양성 상대 조절력, 버전스 용이성 등의 11가지 항목에서는 유의한 차이가 없었다. 본 실험의 피실험자들이 모두 부등사시, 사시 및 사위, 조절 기능 등 양안 시기능에 이상이 없는 20대 초반이 대부분이었기에 사위 및 융합 능력 등에서 유의한 변화가 없었음을 추측할 수 있다.

근거리 영상 시청에 관한 연구 결과를 살펴보면 근업 작업으로 인한 조절 기능 감소 등의 영향을 확인할 수 있으며,^[17-18,21] 영상 시청 전과 비교해 보았을 때 2D 영상 시청 후, 3D 영상 시청 후의 순서로 조절력의 감소는 안정 피로와 관련이 있음이 보고되었다.^[18] 본 연구 결과에서 2D, 3D 영상 시청 후 모두 폭주 근점이 증가했으며, 3D 영상 시청 후 단안 최대 조절력(O.D.)이 유의하게 감소했다는 점에서 기존의 연구들과 조절 관련 검사 결과에서 유사한 특성을 보인다. 하지만 이는 근거리 작업으로 인한 일부 조절력 검사 항목에서 일시적이고 크지 않은 변화였으며, 유의한 차이가 있는 3가지 항목의 경우에도 90분 시청 직후에도 시기능의 비정상적인 변화는 관찰되지 않았다. 또한 나머지 11가지 항목에서 2D와 3D 영상 시청 사이에도 큰 차이는 발견할 수 없었다.

결론

본 연구를 통해 TV의 원거리 시청 조건(2.5 m)과 달리 0.5 m 정도의 근거리에서 노트북을 사용하여 2D 및 3D

영상을 약 1시간 30분 시청할 경우 피로도와 시기능의 변화에 대해 알아보았다. 설문 조사를 통한 피로도 변화의 경우 30분까지는 2D와 3D에서 모두 눈과 전신 관련 피로를 거의 느끼지 않다가 시청 60분 후, 90분 후부터는 두통, 어지러움, 메스꺼움 등의 시청 피로가 3D에서 점진적으로 증가함을 알 수 있었다. 시기능 검사에서는 2D 및 3D 모두 폭주 근점, 최대 조절력 등 일부 항목에서 유의한 변화를 관찰하였지만, 시기능의 비정상적인 큰 변화는 발견되지 않았다.

원거리에서 3D 영상을 시청할 경우와 비교하여, 근거리에서 시청 시 조절 자극량의 범위가 증가하여 조절·폭주의 불균형 문제와 연관되어 피로가 발생할 가능성이 크다. 근거리에서 3D 영상을 시청할 경우 30분 정도의 시청은 2D 영상 시청과 비교해 큰 시청 피로를 유발하지 않지만, 시청 시간이 길어지는 경우 주의가 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] Howarth PA. Potential hazards of viewing 3-D stereoscopic television, cinema and computer games: a review. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2011;31(2):111-122.
- [2] Rushton SK, Riddell PM. Developing visual systems and exposure to virtual reality and stereo displays: some concerns and speculations about the demands on accommodation and vergence. *Appl Ergon.* 1999;30(1):69-78.
- [3] Chen C, Li K, Wu Q, Wang H, Qian Z, Sudlow G. EEG-based detection and evaluation of fatigue caused by watching 3DTV. *Displays.* 2013;34(2):81-88.
- [4] Lambooy MTM, IJsselstein WA, Heynderickx I. Visual discomfort in stereoscopic displays: a review. *SPIE.* 2007; 6490:1-13.
- [5] Yang SN, Schlieski T, Selmins B, Cooper SC, Doherty RA, Corriveau PJ, Sheedy JE. Stereoscopic Viewing and reported perceived immersion and symptoms. *Optom Vis Sci.* 2012;89(7):1068-1080.
- [6] Yoon JH, Lee I, Kim T, Kim J. Visual fatigue in watching 3 dimension television. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2012;17(1): 47-52.
- [7] Solimini AG. Are there side effects to watching 3D movies? a prospective crossover observational study on visually induced motion sickness. *PLoS One.* 2013;8(2): e56160.
- [8] Hong HK, Jang JW, Lee DG, Lim M, Shin H. Analysis of angular dependence of 3-D technology using polarized eyeglasses. *J Soc Inf Display.* 2010;18(1):8-12.

- [9] Jung KS, Kang MS, Kim DH, Sohn KH. 3D video quality improvement for 3D TV using color compensation. *J Broadcast Eng.* 2010;15(6):757-767.
- [10] Patterson R. Human factors of stereo displays: an update. *J Soc Inf Display.* 2009;17(12):987-996.
- [11] Pölönen M, Järvenpää T, Bilcu B. Stereoscopic 3D entertainment and its effect on viewing comfort: comparison of children and adults. *Appl Ergon.* 2013;44(1):151-160.
- [12] Kang HG, Jang YS, Kim UJ, Hong HK. Study of the change of the fatigue and the visual function before and after viewing 2D and 3D movies. *Korean J Vis Sci.* 2016;18(2):121-133.
- [13] Read JC, Godfrey A, Bohr I, Simonotto J, Galna B, Smulders TV. Viewing 3D TV over two months produces no discernible effects on balance coordination or eyesight. *Ergonomics.* 2016;59(8):1073-1088.
- [14] LG electronics. 15.6" full HD 3D LED LCD Notebook A-530D, 2011. <http://www.lg.com/in/laptops/lg-A530-D/> (30 December 2016).
- [15] LG electronics. LG P920 Optimus 3D, 2012. <http://www.lg.com/uk/mobile-phones/lg-P920-optimus-3d/> (30 December 2016).
- [16] Nintendo. Nintendo 3DS, 2015. <http://www.nintendo.com/3ds/> (30 December 2016).
- [17] Lee WJ, Kwak HW, Son JS, Kim IS, Yu DS. Changes in visual function after viewing an anaglyph 3D image. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2011;16(2):179-186.
- [18] Kim JH, Hwang HY, Kang JH, Yu DS, Kim JD, Son JS. The influence of accommodation on watching home 3D TV at close distance. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2013;18(2):157-163.
- [19] Son JS, Kim DS, Kim JH, Kim JD, Hamacher A, Yu DS. The evaluations of phoria and AC/A ratio by watching 3D TV at near. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2015;20(3):319-324.
- [20] Yoon JH, Kim JD. Binocular vision corrective spectacle lenses reduce visual fatigue in 3-D television viewing. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2014;19(3):363-369.
- [21] Kim DS, Lee WJ, Kim JD, Yu DS, Jeong ET, Son JS. Change of phoria and subjective symptoms after watching 2D and 3D image. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2012;17(2):185-194.
- [22] Kuze J, Ukai K. Subjective evaluation of visual fatigue caused by motion images. *Displays.* 2008;29(2):159-166.
- [23] Ukai K, Howarth PA. Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: background, theories, and observations. *Displays.* 2008;29(2):106-116.
- [24] Lee HJ, Jang MH, Mah KC. The visual effect resulting from virtual reality. *Korean J Vis Sci.* 2010;12(3):153-162.
- [25] Okada Y, Ukai K, Wolffsohn JS, Gilmartin B, Iijima A, Bando T. Target spatial frequency determines the response to conflicting defocus and convergence driven accommodative stimuli. *Vision Res.* 2006;46(4):475-484.

2D 및 3D 근거리 영상 시청 전, 후의 피로도 및 시기능 변화에 대한 연구

강현구^{1,2}, 오수진¹, 김연정¹, 홍형기^{1,*}

¹서울과학기술대학교 안경광학과, 서울 01811

²국제 대학교 안경광학과, 평택 17731

투고일(2017년 1월 25일), 수정일(2017년 6월 13일), 게재확정일(2017년 6월 20일)

목적: 근거리 시청 환경인 3D 노트북에서 2D 및 3D 영상 시청 전, 후 피로도와 시기능 변화를 피로도 설문지 (Simulator Sickness Questionnaire)와 시기능 검사를 통해 비교 분석하였다. **방법:** 시기능에 이상이 없고, 근거리 입체시력 60 초(sec) 이상으로 입체영상 시청에 무리가 없는 양안 교정 및 나안 시력이 1.0 이상(정시 및 콘택트렌즈 착용자, 안경 착용자 제외)인 23-33세(평균연령 25.67 ± 1.6 세)의 피검자 15명(남 8명, 여 7명)을 대상으로 하였다. 15.6 인치의 3D 노트북을 이용하여 0.5 m 거리에서 90분간 2D 및 3D 영상을 시청하였다. 시청 전, 시청 중 30분, 60분, 90분으로 나누어 피로도 설문(SSQ) 및 시기능 검사(원근 거리 사위 및 이향 운동, 조절력)를 실시하여 분석하였다. **결과:** 영상 시청 전과 30분 후의 피로도 검사에서는 2D 및 3D에서 차이가 나타나지 않았지만, 시청 후 60분에서는 3D 영상에서 집중하기 어려움 항목이 더 높게 나타났고($p = 0.036$), 90분 시청 후 3D 영상에서 집중하기 어려움($p = 0.011$), 어지러움($p = 0.023$), 목이 뻣근함($p = 0.028$), 졸림($p = 0.030$), 눈의 통증($p = 0.027$), 그리고 현기증($p = 0.014$)의 항목이 유의하게 큰 것으로 나타났다. 시기능 검사에서는 조절 용이성, 폭주근점, 최대 조절력 항목에서 유의한 변화를 관찰하였지만, 시기능의 비정상적인 큰 변화는 발견되지 않았다. **결론:** 근거리에서 3D 영상을 시청할 경우 30분 정도의 시청은 2D 영상 시청과 비교해 큰 시청 피로를 유발하지 않지만, 시청 시간이 더 긴 경우 주의가 요구된다.

주제어: 3D 영상표시장치, 근거리 시청, 피로도, 시기능