

## 삼차원(3D) 영상 시청이 눈 피로에 미치는 영향

권준기<sup>1</sup> · 강수연<sup>1</sup> · 김균형<sup>2</sup> · 서영우<sup>1</sup> · 오재령<sup>1</sup> · 김승현<sup>1</sup> · 김효명<sup>1</sup> · 송종석<sup>1</sup>

고려대학교 의과대학 안과학교실<sup>1</sup>, 가천의과대학교 안과학교실<sup>2</sup>

**목적:** 이차원 및 삼차원 영상물 시청 전, 후 눈의 피로도와 눈물막 파괴시간, 안구표면 온도변화 등을 통한 안구표면의 변화를 객관적으로 비교해보고자 하였다.

**대상과 방법:** 2D 및 3D 영상물 시청 전, 후로 눈의 피로도 및 눈 이외의 증상, 최초로 확연히 눈 피로를 느끼는 시간, 시청 중 측정된 눈의 피로도에 대해서 비교하였다. 구면렌즈대응치, 결막충혈도, 눈물막 파괴시간 및 안구표면 온도의 변화에 대해서도 비교하였다.

**결과:** 2D 영상에 비해 3D 영상을 시청한 후에 눈의 피로도 및 두통, 집중력의 저하를 느끼는 정도가 컸으며( $p=0.038, 0.003, 0.045$ ), 30분 간격으로 측정한 눈의 피로도 역시 3D 영상에서 더 높았다. 눈 피로를 느끼기 시작하는 시간은 3D 영상 시청 시에 54.86분, 2D는 78.57분이었( $p=0.002$ ). 3D 영상 시청 후 구면렌즈대응치가 유의하게 감소하였다.

**결론:** 3D 영상을 시청할 때 느끼는 눈의 피로도와 두통, 집중력의 저하 정도가 2D 영상에 비해 유의하게 더 컸으며 눈의 확연한 피로감을 느끼기 시작하는 시간도 더 짧았고, 구면렌즈대응치가 유의하게 근시로 진행하는 양상을 보였다.

(대한안과학회지 2012;53(7):941-946)

삼차원(3D, dimensional) 영상은 입체감을 주어 보는 이로 하여금 영상이 보다 실제적으로 느껴지게 하는 장점을 가진다. 과거에는 놀이동산에서 주로 사용되었으나 최근 영상기술의 발달과 함께 3D 영화 ‘아바타’가 전 세계적으로 3D 영화의 붐을 일으키게 되었고 그 이후로 3D로 제작된 많은 영화들이 만들어져 극장에서 상영되고 있다. 이러한 변화는 영화뿐만 아니라 3D TV와 3D 컴퓨터가 각 가정에 보급되면서 방송사들도 3D 콘텐츠를 만들어 방영하는 등 짧은 기간 동안 영상 산업에 3D와 관련하여 많은 변화가 진행되고 있다.

3D 영상은 이차원(2D) 영상에 비해 입체감을 더 느끼게 하는 장점이 있으나 시청자로 하여금 눈의 피로를 유발하여 일명 “3D 눈 피로(3D asthenopia)”를 일으킬 수 있고, 눈 이외에도 두통, 미식거림 등의 증상을 일으킬 수 있다.<sup>1</sup> 문제는 과거 놀이동산에서 짧은 시간 3D 영상에 노출되는 것과는 달리 가정에 보급된 3D TV나 컴퓨터를 이용하게 되는 경우 상당 시간 동안 몰입하여 3D 영상을 시청하게 될

가능성이 매우 크다는 것이다. 따라서 건강한 성인뿐 아니라 시 기능이 아직 성숙하지 않은 어린 학동기의 아이들, 그리고 건강상의 문제로 집에서 장기간 TV를 시청하는 노인층에서 3D 영상에 장기간 노출됐을 때 어떠한 문제가 발생할 수 있을지에 대해서는 별로 알려진 것이 없다. 따라서 2D 영상에서 3D 영상으로 영상 산업이 발전하고 변화하기 위해서는 3D 영상과 관련된 주관적 증상들을 평가하고 이를 해결할 수 있는 방안을 모색하여야 한다.

본 연구에서는 이러한 3D 영상을 시청할 때 느끼는 눈의 피로감과 두통이나 미식거림 등의 주관적 증상이 2D 영상을 시청할 때와 어떤 차이가 있는지를 비교해보고자 하였으며, 주관적 증상 이외에 결막 충혈도, 안구표면온도, 눈물막 파괴시간, 구면렌즈대응치 등 눈의 객관적 지표들의 변화 정도가 2D와 3D 영상 간에 차이가 있는지 알아보려고 하였다. 또한 원거리 입체시를 측정하여 3D 영상 시청에 따른 눈의 피로도, 두통, 미식거림 등의 증상 및 눈의 객관적 지표의 변화와 개개인의 입체시 정도 간에 연관성이 있는지도 평가해 보고자 하였다.

■ 접수 일: 2011년 9월 19일 ■ 심사통과일: 2011년 11월 26일  
■ 게재허가일: 2012년 5월 4일

■ 책임저자 송 종 석

서울특별시 구로구 구로동로 148  
고려대학교구로병원 안과  
Tel: 02-2626-1260, Fax: 02-857-8580  
E-mail: crisim@korea.ac.kr

\* 이 논문의 요지는 2010년 대한안과학회 제104회 학술대회에서 구연으로 발표되었음.

### 대상과 방법

특별한 안 질환 또는 전신적인 질환이 없는 건강한 성인 지원자 총 14명을 대상으로 하였다. 이들은 모두 실험 전 프리즘 교대 가림검사, 벡터분석(vectogram)을 시행하여서 융합에 영향을 줄 수 있는 사시, 사위 또는 억제(suppression)

가 없는 것을 확인하였다. 또한 Frisby-Davis (FD-2) 원거리 입체시검사를 통해 모든 피험자들의 원거리 입체시를 측정하였다. 1주 간격으로 2D 영상과 3D 영상을 각각 시청하였으며 대상자를 임의로 나누어서 한 그룹은 2D 영상을 먼저 시청하게 하였으며 나머지 그룹은 그 역순으로 시청하게 하였다. 주변 조명은 모두 없앤 암실에서 시청하였으며 약 5 m의 거리를 유지하도록 하였다. 삼성전자의 55 inch HDTV (UN55C7000WF, Samsung Electronics, Korea)를 통해 3D 영상을 시청하였으며 제조사에서 제공한 셔터 글래스 방식의 안경을 사용하였다.

영상물 시청 전후 'Ames et al'<sup>2</sup>이 제안한 설문지를 통한 눈의 피로도를 평가하였다(Appendix 1). 눈 피로와 관련된 10가지 증상을 각각 0-6점으로 표시하여 이를 합산하는 방법이며 따라서 눈 피로도는 최소 0점에서 최대 60점으로 평가되었다. 눈 피로 이외에도 3D 영상과 관련된 눈 이외의 4가지 증상, 즉 두통, 현기증, 속 메스꺼움, 집중력 저하 등에 대해서도 각각 0-6점으로 표시하여 영상물 시청 전후의 증상 변화를 평가하였다. 또한 약 2시간에 걸친 영상 시청 시간 동안 30분 간격으로 간단한 눈의 피로도를 0-6점으로 응답하게 하였으며 눈의 피로가 확연히 느껴지기 시작하면 피검자에게 표시하여 그 시간을 기록하도록 하였다.

객관적 평가를 위해서는 세극등검사를 통하여 결막 충혈 정도를 Schulze et al<sup>3</sup>이 제시한 충혈도 사진과 비교하여 1인의 안과 의사가 1-10점 범위에서 점수를 매겼고, 플루레신 형광 염색 후 눈물막 파괴시간을 측정하였으며, 안구표면온도를 비접촉 적외선 온도 측정기(BT-020, Easytme, Korea)를 이용하여 각막 중심부에서 시청 전, 후 각각 3회 측정하여 평균값을 기록하였다. 영상물 시청 전후 굴절이상 여부에 변화가 있는지 평가하기 위해 영상물 시청 전과 시청 직후 자동굴절검사기(RK-F1, Canon Inc, Tokyo, Japan)를 이용하여 굴절이상을 측정하였으며 구면렌즈대응치를 계산하여 영상물 시청 전후의 변화를 평가하였다. 모든 검사는 양안 중 우안을 택하여 진행하였다.

통계적 분석은 SPSS v12.0 (for Windows, Chicago, USA)를 이용하였으며  $p$ 값이 0.05 미만인 경우 통계적으로 유의성이 있다고 보았다. 각각의 측정 변수의 변화량에 대

해서 2D 영상 및 3D 영상 시청 간에 차이가 있는지는 paired  $t$ -test를 통해 알아보았고, 피험자의 원거리 입체시와 눈의 피로도 및 눈 이외의 증상, 안구의 객관적 지표들 간의 연관성을 평가하기 위해서 Pearsons' correlation analysis를 이용하였다.

## 결 과

실험에 참가한 총 14명은 남자 7명, 여자 7명으로 성비는 동일하였으며, 평균 연령은 28.4 ( $\pm 2.44$ )세였다. 이들은 모두 정위를 보였으며, 백터분석상 역제를 보이는 경우는 없었다. 원거리 입체시는 평균 8.93 ( $\pm 4.00$ )초였다.

영상물 시청 전, 후로 'Ames et al'<sup>2</sup>이 제시한 설문지를 통한 눈의 피로도'(0-60)는 2D 시청 시에는 시청 전 평균 3.86점에서 시청 후 7.43점으로서 3.57점 상승하였으며, 3D 시청 시에는 시청 전 평균 4.21점에서 시청 후 11.86점으로서 7.65점 상승하였다. 이 둘의 차이는 통계적으로 유의하였다( $p=0.038$ ). 2D를 먼저 시청한 그룹은 2D 시청 후 4.00 ( $\pm 4.08$ )점 상승하였고, 3D 시청 후 6.86 ( $\pm 4.67$ )점 상승하였다. 3D를 먼저 시청한 그룹은 2D 시청 후 3.14 ( $\pm 3.72$ )점 상승하였고, 3D 시청 후 8.43 ( $\pm 10.67$ )점 상승하였다. 시청 순서에 관계없이 3D 시청이 2D 시청에 비해 눈의 피로도가 더 많이 상승하는 것으로 나타났다.

눈 이외의 증상으로, 먼저 두통은(0-6) 2D 시청 시 0.29점에서 0.50점으로서 약 0.21점 상승하였으며 3D 시청 시에는 0.14점에서 1.21점으로서 약 1.07점 상승하였다. 이 역시 유의한 차이를 보였다( $p=0.003$ ). 현기증에 대해서는 2D 시청 시 약 0.14점 상승하였고 3D 시청 시 0.57점 상승하였다( $p=0.139$ ). 속 미식거림은 2D 시청 시 약 0.14점 상승하였고, 3D 시청 시 약 0.36점 상승하였다( $p=0.082$ ). 집중력 저하에 대해서는 2D 시청 시 0.79점 상승하였고, 3D 시청 시에는 1.43점 상승하였다( $p=0.045$ ) (Table 1).

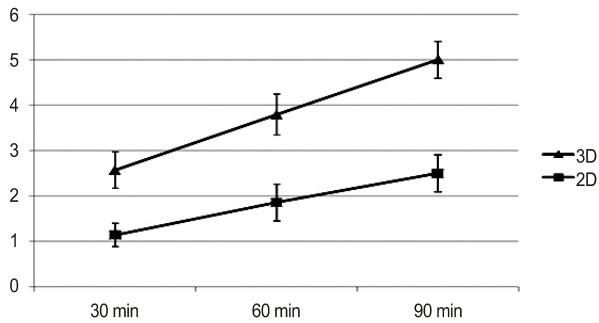
영상을 시청하면서 30분 간격으로 측정한 '간단한 눈의 피로도'(0-6)에 대해서는 2D 및 3D 각각 시청 30분 후 1.14 ( $\pm 0.95$ ), 2.57 ( $\pm 1.50$ ), 시청 60분 후 1.86 ( $\pm 1.51$ ), 3.79 ( $\pm 1.67$ ), 그리고 시청 90분 후 2.50 ( $\pm 1.51$ ), 5.00

**Table 1.** Changes of ocular fatigue and non-ocular symptoms after watching 2D and 3D images

	2D	3D	$p^*$
Ocular fatigue (scale: 0-60)	3.57 $\pm$ 3.77	7.65 $\pm$ 7.96	0.038
Headache (scale: 0-6)	0.21 $\pm$ 0.43	1.07 $\pm$ 1.00	0.003
Dizziness (scale: 0-6)	0.14 $\pm$ 0.66	0.57 $\pm$ 1.02	0.139
Nausea (scale: 0-6)	0.14 $\pm$ 0.53	0.36 $\pm$ 0.84	0.082
Decreased concentration (scale: 0-6)	0.79 $\pm$ 0.80	1.43 $\pm$ 0.85	0.045

Values are stated as mean  $\pm$  SD.

\*Paired  $t$ -test.



**Figure 1.** Ocular fatigue while watching 2 D and 3 D images.

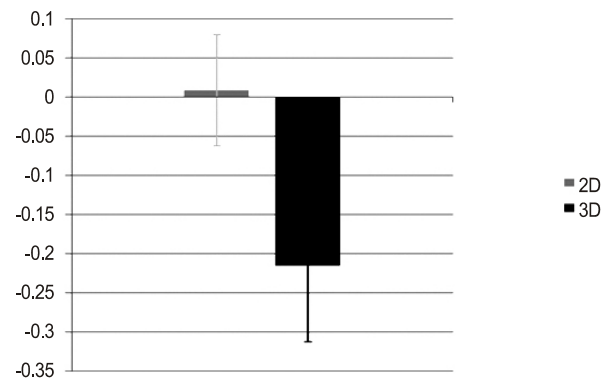
( $\pm 1.52$ )로 측정되었다. 모든 시간대에서 2D 영상에 비해 3D 영상에서 유의하게 높게 측정되었다( $p=0.017, 0.003, 0.000$ ) (Fig. 1). 또한 시청 후 최초로 확연히 눈의 피로를 느끼기 시작하는 시간은 2D 시청 시 평균 78.52 ( $\pm 22.82$ )분부터였으며 3D 시청 시에는 평균 54.86 ( $\pm 20.33$ )분부터였다( $p=0.002$ ). 즉, 3D 영상 시청 시에 2D 영상에 비해 유의하게 일찍 눈의 피로를 느끼기 시작하는 것으로 나타났다.

다음으로 안구관련 객관적 지표로서 측정한 4가지 항목 중, 먼저 구면렌즈대응치는 2D 시청 전, 후로 0.01 ( $\pm 0.27$ )디옵터 증가하였으며( $p=0.902$ ), 3D 시청 전, 후로는 0.21 ( $\pm 0.37$ )디옵터 감소하였다( $p=0.047$ ) (Fig. 2). 즉, 2D 영상 시청 후에는 구면렌즈대응치의 유의한 변화가 없었지만, 3D 영상 시청 후에는 구면렌즈대응치가 유의하게 근시 쪽으로 이동하는 것을 알 수 있었다. 이 둘의 차이는 통계적으로 유의하였다( $p=0.029$ ). 결막충혈 정도, 눈물막 파괴 시간, 그리고 안구표면 온도에 대해서는 2D와 3D 간에 유의한 차이를 보이지는 않았다( $p=0.583, 1.000, 0.926$ ) (Table 2).

실험 전에 측정한 원거리 입체시의 정도와 3D 영상물 시청 전, 후 변화하는 눈의 피로도 및 눈 이외의 증상 4가지, 안구 관련 객관적 지표 4가지와는 모두 상관 관계를 보이지 않았다(Table 3). 그리고 3D 영상 시청 후 구면렌즈대응치의 변화 정도와 3D 영상 시청 후 눈의 피로도의 증가 사이에도 상관 관계를 보이지는 않았다( $p=0.664$ ).

## 고 찰

영상산업의 발달로 3D 영상을 제공할 수 있는 영상기기들이 점차 늘어나고 있다. 3D 영상을 보여주는 영화관은 물론이고, 3D TV와 3D 모니터, 3D 카메라와 캠코더, 최근에는 3D 영상을 제공하는 스마트폰까지 점차 다양한 전자기기를 통해 3D 영상을 접할 수 있게 되었다. 3D 영상의 기술 방식은 크게 안경식과 무안경식으로 나누며, 스마트폰과 같이 소형 영상기기를 제외하고는 대부분 안경식 기술을 이용



**Figure 2.** Changes of spherical equivalents (diopter) after watching 2D and 3D images.

하고 있다. 안경식 방법에는 편광안경방식과 셔터글래스 방식 두 가지가 있으며 현재 우리나라의 대표적 두 전자회사인 삼성전자의 경우 셔터글래스 방식을, LG전자의 경우 편광안경방식을 이용한 전자제품을 생산하고 있다. 본 연구에서는 셔터글래스 방식을 이용한 3D TV를 통해 3D 영상을 시청하였으며 현재로는 3D 기술 방식에 따라 눈의 피로 유발에 차이가 있는지에 대해서는 별로 알려진 바가 없다.

3D 영상 시청이 눈의 피로를 유발하는 원인에 대해서는 몇 가지 이론이 제시되고 있다. Lambooi et al<sup>4</sup>은 과도한 조절-폭주 연관 운동에 대한 요구, 불충분한 깊이 정보로 인한 3D 영상의 왜곡, 부자연스러운 이미지의 흐름 등으로 인해 시각적 불편감이 초래될 것이라고 하였고, Hoffman et al<sup>1</sup>은 조절과 폭주의 불일치가 시청자로 하여금 양안 자극의 융합 능력을 떨어뜨려 불편감과 시각적 피로를 유발한다고 하였다. 본 연구에서 눈 피로에 대해 피험자들의 응답을 통해 주관적으로 평가하였을 때 2D 영상 시청 전에는 평균 3.86 ( $\pm 5.57$ )점이 시청 후에는 7.43 ( $\pm 5.71$ )로 약 3.57점 상승하였고, 3D 영상의 경우 시청 전에는 평균 4.21 ( $\pm 4.73$ )점이 시청 후에는 11.86 ( $\pm 10.92$ )점으로 약 7.65점 상승하였다. 즉, 3D 영상의 시청이 눈의 피로를 2D 영상보다 상대적으로 더 많이 일으키는 것으로 나타났으며, 전신적 증상 중 두통, 집중력 저하의 경우 2D 영상에 비해 3D 영상이 더 많이 유발하는 것으로 나타났다. 또한 영상물 시청 후 30분, 60분, 90분에 측정한 전반적인 눈의 피로감에 있어서도 모든 시간대에서 3D 영상에서 더 심한 피로감을 나타냈으며 심한 눈의 피로를 느끼는 시간도 2D 영상의 경우 평균 78.52 ( $\pm 22.82$ )분인 반면 3D 영상의 경우 54.86 ( $\pm 20.33$ )분으로, 3D 영상 시청 시 2D 영상보다 눈의 피로감을 더 빨리 느꼈으며 이는 통계적으로 유의하였다( $p=0.01$ ).

본 연구에서는 3D 영상이 일으키는 주관적 눈의 피로도를 객관적으로 평가하기 위해 이전 연구에서 제시한 눈물막

**Table 2.** Changes of ocular objective indices after watching 2D and 3D images

	2D	3D	<i>p</i> *
Spherical equivalent (diopter)	0.01 ± 0.27	-0.21 ± 0.37	0.029
Conjunctival injection (scale: 1-10)	0.29 ± 0.61	0.21 ± 0.43	0.583
Tear BUT (sec)	-0.43 ± 1.22	-0.43 ± 1.16	1.000
Ocular surface temperature (°C)	0.23 ± 0.52	0.21 ± 0.69	0.926

Values are stated as mean ± SD.

\*Paired *t*-test.

**Table 3.** Correlation coefficients and *p*-values between distant stereoacuity and variables for watching 3D images

	Distant stereoacuity (sec of arc)	
	Pearson coefficient	<i>p</i> *
Ocular fatigue (scale: 0-60)	0.421	0.134
Headache (scale: 0-6)	-0.306	0.288
Dizziness (scale: 0-6)	0.162	0.580
Nausea (scale: 0-6)	-0.106	0.719
Decreased concentration (scale: 0-6)	0.145	0.621
Spherical equivalent (diopter)	-0.103	0.725
Conjunctival injection (scale: 1-10)	-0.080	0.785
Tear BUT (sec)	-0.189	0.517
Ocular surface temperature (°C)	0.323	0.260

\*Pearsons' correlation analysis.

파괴시간, 안구표면온도, 결막 충혈도 등을 평가해 보았다.<sup>5</sup> 2D 영상과 3D 영상 모두 결막 충혈도는 약간 증가하는 경향을, 눈물막 파괴시간은 조금 짧아지는 경향을, 안구표면온도는 다소 증가하는 경향을 보였으나 영상 시청 전후에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았고, 2D 영상과 3D 영상 간에도 별 차이를 보이지 않았다. 그러나 자동굴절검사기를 이용한 굴절이상의 구면렌즈대응치의 경우 2D 영상 시청 전후에는 유의한 차이를 보이지 않았으나 3D 영상 시청 후에는 평균 0.21 (±0.37)디옵터 근시 쪽으로 측정되었고 2D와 3D 간의 차이는 통계적으로 유의하였다(*p*=0.029).

근거리 작업을 오래하게 되면 일시적으로 근시가 유발되며 이를 'nearwork-induced transient myopia' (NITM)이라 한다.<sup>6</sup> 이러한 NITM이 영구적인 근시로 진행하는지에 대해서는 논란이 있지만 근거리 작업이 근시를 유발하고 또 근시를 진행시키는 중요한 환경적 요소로 여겨지고 있다.<sup>7-9</sup> 본 연구에서는 5 m 거리에서 2D와 3D 영상을 시청하게 한 후 영상 시청 전과 시청 직후의 구면렌즈대응치를 비교한 결과 2D 영상의 경우 시청 전후에 유의한 차이를 보이지는 않았으나 평균 구면렌즈대응치가 원시 쪽으로 미세하게 진행한 경향을 보였다. 그러나 3D 영상의 경우 5 m의 시청거리에도 불구하고 평균 구면렌즈대응치가 유의하게 근시로 진행하는 결과를 나타냈다. 이는 3D 영상의 경우 영상의 깊이 차이로 인해 영상을 시청하는 도중 반복적인 조절작용이 유발되어 일어나는 현상이 아닐까 생각되며 이러한 조절작용이 3D 영상을 시청할 때 눈의 피로를 더 느끼는

한 원인이 될 수 있겠다. Iwasaki et al<sup>10</sup>은 원, 근거리 자극을 이용해 구면렌즈대응치의 변화를 확인한 후 근시로의 이동을 보인 사람들에게서 안구 피로도, 건조감 등의 증가를 확인하였다. 비록 본 연구에서 3D 시청 시에 일어나는 구면렌즈대응치의 근시로의 변화 정도와 눈의 피로도에 대해서는 유의한 연관성을 보이지는 않았지만, 향후 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

Lambooij et al<sup>11</sup>은 양안시 기능이 떨어지는 사람들이 3D 영상 시청 후 느끼는 눈의 피로도가 더 높다고 보고한 바 있다. 본 연구에서도 3D와 관련된 눈의 피로도나 전신적인 증상이 각 개인의 원거리 입체시 기능에 따라 차이가 있지 않을까 하는 가정하에 원거리 입체시 검사인 FD-2를 이용하여 원거리 입체시 검사를 시행한 후 3D 영상과 관련된 눈의 피로도 및 전신적 증상과의 연관성을 평가하였으나 눈의 피로도 및 전신적 증상과 원거리 입체시시간에 유의한 연관성을 보이지는 않았다. FD-2를 통한 원거리 입체시검사의 정상 범위로 대략 8-20초(second of arc) 정도로 알려졌으며, 연령별로는 약 20대에서 7-13초 정도의 가장 좋은 입체시를 보였다는 보고가 있다.<sup>12</sup> 본 연구에서도 평균 8.93 (±4.00)초의 원거리 입체시를 보였으며, 대부분 20대 후반의 연령을 감안해 보면 피검자들은 모두 정상적인 입체시를 모두 가졌다고 볼 수 있다. 따라서 입체시와 눈의 피로도 및 전신 증상과의 적절한 연관성 분석이 이루어지지 못하였을 가능성이 있다. 이는 실험 전, 교대 프리즘 가림 검사 및 벡터분석을 통해 사시나 사위 또는 억제에 있는 경우를 제외

한 것과도 관련이 있을 것이다.

본 연구의 한계점으로는 검사 대상이 정상 성인 14명으로 대상 수가 비교적 적다는 점을 들 수 있다. 한 피검자가 무작위 순서로 2D와 3D 영상을 모두 시청해야 하므로 2주에 걸쳐 검사를 진행하여야 했고 이로 인해 본 연구를 위한 지원자를 충분히 확보하기가 어려웠다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서는 2D 영상에 비해 3D 영상을 시청할 때 눈의 피로와 두통, 집중력 저하가 더 크게 유발되는 것을 알 수 있었고, 눈의 피로감을 확연히 느끼는 데 걸리는 시간도 더 짧은 것을 확인할 수 있었다. 또한 2D 영상과 달리 3D 영상을 시청한 후에는 구면렌즈대응치가 유의하게 근시로 진행하는 현상을 확인하였다. 따라서 3D 영상을 시청할 때에는 일반 2D 영상에 비해 휴식을 보다 일찍 취하는 것이 바람직하다고 생각하며 휴식을 취할 때는 먼 사물을 바라보아 3D 영상 시청으로 인한 조절을 이완시켜주는 것이 필요하다고 생각한다. 3D 영상 시청과 관련된 안전성 가이드라인을 제시하기 위해서는 향후 좀 더 많은 인원의 다양한 연령대를 대상으로 대규모의 연구들이 필요하리라 생각한다.

## 참고문헌

- 1) Hoffman DM, Girshick AR, Akeley K, Banks MS. Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *J Vis* 2008;8:33.1-30.
- 2) 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;82:168-76.
- 3) Schulze MM, Jones DA, Simpson TL. The development of validated bulbar redness grading scales. *Optom Vis Sci* 2007;84:976-83.
- 4) Lambooi MTM, Ijsselstein WA, Heynderickx I. Visual discomfort in stereoscopic displays: a review. In: Woods AJ, Dodgson NA, Merritt JO, et al., eds. *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems*, Proc SPIE 2007; v. 6490.
- 5) Suh YW, Kim KH, Kang SY, et al. The objective methods to evaluate ocular fatigue associated with computer work. *J Korean Ophthalmol Soc* 2010;51:1327-32.
- 6) Ciuffreda KJ, Vasudevan B. Nearwork-induced transient myopia (NITM) and permanent myopia— is there a link? *Ophthalmic Physiol Opt* 2008;28:103-14.
- 7) Goldschmidt E. [On the etiology of myopia. An epidemiological study]. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1968;Suppl 98:1+.
- 8) Ong E, Ciuffreda KJ. Nearwork-induced transient myopia: a critical review. *Doc Ophthalmol* 1995;91:57-85.
- 9) Hung GK, Ciuffreda KJ. Incremental retinal-defocus theory of myopia development--schematic analysis and computer simulation. *Comput Biol Med* 2007;37:930-46.
- 10) Iwasaki T, Tawara A, Miyake N. Reduction of asthenopia related to accommodative relaxation by means of far point stimuli. *Acta Ophthalmol Scand* 2005;83:81-8.
- 11) Lambooi M, Fortuin M, Ijsselstein W, Heynderickx I. Measuring visual fatigue and visual discomfort associated with 3-D displays. *J Soc Inf Disp* 2010;18:931-43.
- 12) Kim SJ, Kim SY. Normal distance stereoacuity by age assessed by the Frisby Davis Distance stereotest. *J Korean Ophthalmol Soc* 2008;49:158-63.

## Appendix 1. Questionnaire for evaluating ocular fatigue

	None	Mild		Moderate		Severe	
	0	1	2	3	4	5	6
Tired eyes							
Sore/aching eyes							
Irritated eyes							
Watery eyes							
Dry eyes							
Eyestrain							
Hot/burning eyes							
Blurred vision							
Difficulty in focusing							
Vision discomfort							

=ABSTRACT=

## The Ocular Fatigue of Watching Three-Dimensional (3D) Images

Junki Kwon, MD<sup>1</sup>, Su-Yeon Kang, MD<sup>1</sup>, Kyun-Hyung Kim, MD<sup>2</sup>, Young-Woo Suh, MD, PhD<sup>1</sup>,  
Jae Ryung Oh, MD, PhD<sup>1</sup>, Seung-Hyun Kim, MD, PhD<sup>1</sup>, Hyo-Myung Kim, MD, PhD<sup>1</sup>, Jong-Suk Song, MD, PhD<sup>1</sup>

*Department of Ophthalmology, Korea University College of Medicine<sup>1</sup>, Seoul, Korea*  
*Department of Ophthalmology, Gachon University of Medicine and Science<sup>2</sup>, Incheon, Korea*

**Purpose:** To compare ocular fatigue, non-ocular symptoms, and ocular surface changes, such as tear break-up time (BUT) and ocular surface temperature, after watching 2-dimensional (2D) and 3-dimensional (3D) images.

**Methods:** Fourteen volunteers were enrolled in the present study. Subjects watched 2D as well as 3D images and answered questions regarding ocular fatigue and general symptoms such as headache. Before and after watching images, the spherical equivalent, degree of conjunctival injection, tear BUT, and ocular surface temperature were measured and the amount of change was analyzed. While watching images, subjects answered questions regarding ocular fatigue and the time when they began to feel definitive symptoms.

**Results:** Watching 3D images induced a greater degree of ocular fatigue, headache, and decreasing concentration than watching 2D images ( $p = 0.038$ ,  $0.003$ , and  $0.045$ , respectively). While watching images, 3D images induced a greater degree of ocular fatigue than 2D images and caused subjects to feel earlier ocular fatigue (3D: 54.86 min, 2D: 78.57 min,  $p = 0.002$ ). Spherical equivalents became more myopic after watching 3D images.

**Conclusions:** After watching 3D images, a greater degree of ocular fatigue, headache, and decreasing concentration was induced and a shorter time to feel definitive ocular fatigue was observed than after watching 2D images. In addition, spherical equivalents changed myopically after watching 3D images.

J Korean Ophthalmol Soc 2012;53(7):941-946

**Key Words:** Ocular fatigue, Three-dimensional (3D) image

---

Address reprint requests to **Jong-Suk Song, MD, PhD**

Department of Ophthalmology, Korea University Guro Hospital

#148 Gurodong-ro, Guro-gu, Seoul 152-703, Korea

Tel: 82-2-2626-1260, Fax: 82-2-857-8580, E-mail: crisim@korea.ac.kr