

외편위 환자에서 3D TV 시청이 사시각 및 굴절이상에 미치는 영향

Influence of Watching 3D Television on Refractive Error in Children with Exodeviation

서혜진¹ · 김승현¹ · 서영우¹ · 최용민¹ · 유은주¹ · 한지윤¹ · 남기태¹ · 조윤애²

Hye Jin Seo, MD¹, Seung Hyun Kim, MD, PhD¹, Young Woo Suh, MD, PhD¹, Yong Min Choi, MD¹,
Eun Joo Yoo, MD¹, Ji Yun Han, MD¹, Ki Tae Nam, MD¹, Yoon Ae Cho, MD, PhD²

고려대학교 의과대학 안과학교실¹, 누네안과병원²

Department of Ophthalmology, Korea University College of Medicine¹, Seoul, Korea
Nune Eye Hospital², Seoul, Korea

Purpose: To investigate the effects of watching three-dimensional (3D) television (TV) on the angle of deviation and refractive error in children with exodeviation.

Methods: Twenty-three volunteers with exodeviation, aged 6 to 12 years, without any ocular abnormalities other than refractive error and exodeviation were recruited for this study. The subjects watched 3D TV for 50 minutes at a viewing distance of 2.8 meters. The image disparity of 3D contents was -1 to 1 degree. Refractive errors were measured before and immediately after watching TV and after a 10-minute rest. The changes in angle of deviation were also obtained. Refractive errors and angle of deviation before and after watching 3D TV were compared.

Results: The mean age of the subjects was 9.30 ± 1.58 years. The mean baseline angle of deviation was 13.04 ± 5.25 (6-30) prism diopters (PD), which did not change significantly immediately after watching 3D TV and after a 10-minute rest ($p = 0.452$). The mean refractive errors were -2.15 ± 1.55 D in the right eye and -2.06 ± 1.55 D in the left eye before and changed to -2.14 ± 1.57 D and -2.11 ± 1.45 D, respectively, immediately after watching 3D TV. After a 10 minute rest, the mean refractive errors were 2.14 ± 1.53 D in the right eye and -2.07 ± 1.53 D in the left eye. All changes in refractive errors were not statistically significant ($p = 0.991$ in right eye, 0.495 in left eye). The amount of myopic shift in both eyes immediately after watching 3D TV was correlated with the angle of exodeviation ($r = 0.468$, $p = 0.024$). However, the correlation disappeared after a 10-minute rest ($r = 0.345$, $p = 0.107$).

Conclusions: Watching properly made 3D contents on 3D TV for 50 minutes at more than 2.8 meters of viewing distance did not affect the refractive error in children with exodeviation. Further studies on the relationship between the amount of myopic shift and the angle of exodeviation are necessary.

J Korean Ophthalmol Soc 2014;55(10):1525-1529

Key Words: Exodeviation, Exotropia, Myopic shift, Refractive error, Three-dimensional imaging

■ Received: 2014. 4. 18. ■ Revised: 2014. 6. 10.

■ Accepted: 2014. 8. 29.

■ Address reprint requests to **Seung Hyun Kim, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Korea University Anam Hospital, #73 Incheon-ro, Seongbuk-gu, Seoul 136-705, Korea
Tel: 82-2-920-5520, Fax: 82-2-924-6820
E-mail: ansaneye@hanmail.net

* Parts of the paper have been presented at the Fifth Three Dimensional Systems and Applications (3DSA) held in Osaka (Japan), June 26-28, 2013.

* The related research was conducted as part of a research for establishing guidelines for the safety of 3D broadcasts, an effort supported by the Korea Communications Commission (KCC) and the Korea Radio Promotion Association (RAPA).

과거에는 놀이동산 등 특별한 장소에서만 3D 영상물 관람이 가능하였으나, 오늘날에는 일반 영화관에서뿐 아니라 가정에서도 TV를 통해 3D 영상물을 시청할 수 있게 되었다. 3D 영상은 좌안과 우안 사이의 거리 때문에 좌안으로 보는 영상과 우안으로 보는 영상에 약간의 차이가 발생하고, 서로 다른 영상이 뇌에서 합쳐지며 원근감과 입체감을 인식하게 되는 원리를 이용하는 것으로, 이 과정은 입체감을 느끼기 위해서 필수적인 조건이다.

최근의 연구에서 3D 영상물 시청이 2D 영상물에 비해 시각피로를 더 많이 유발하는 것으로 보고되었고, 그 원인

은 3D 영상물 시청 시에 발생하는 조절(Accommodation)과 눈모음(Convergence)의 불일치 때문으로 알려졌다.^{1,7} 자연계에서는 초점을 맞추는 물체에 맞추어 눈모음이 발생하게 되므로 조절과 눈모음은 항상 일치하지만, 3D 영상물 시청 시에는 눈과 화면 사이의 거리는 변함이 없으나 교차부등(crossed disparity)을 가지는 3D 이미지에 의해서 융합 눈모음(fusional convergence)이 유발되고 이로 인해 조절과 눈모음 사이에 불일치가 발생하는 것이다. 이러한 현상은 거리에 비해 과도한 조절을 야기할 수 있으며,⁸ 이것은 근거리 작업 시와 유사하게^{9,10} 일과성 근시성 변화를 유발할 가능성이 있고 지속되는 경우 영구적인 근시의 발생과 진행에도 영향을 미칠 수 있다. 이전에 발표된 60 cm 거리에서 컴퓨터 모니터로 3D 영상을 시청한 후 굴절력 변화를 관찰한 연구에서는 영상물 시청 후 일시적으로 -0.36디옵터의 근시 변화가 나타났다고 보고되었다.¹¹

외편위 환자들의 경우 정상인에 비하여 눈모음 및 조절 요구도(convergence and accommodation demand)가 높은 것으로 알려졌는데,¹² 이러한 특성 역시 근시에 영향을 미칠 가능성이 있으며 최근 미국에서 간헐외사시 환아들을 20년간 추적 관찰한 연구에서는 환아들의 95.7%에서 근시가 발생하였다고 보고하였다.¹³ 이로부터 외편위 환자들이 3D 영상물을 시청하는 경우 근시 변화가 크게 나타날 가능성을 제시할 수 있으나, 이에 대해서는 아직 연구가 이루어지지 않은 실정으로 본 연구에서는 외편위 환자에서 3D TV 시청이 굴절 이상 및 사시각에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

대상과 방법

본 연구 계획은 고려대학교 안암병원 윤리위원회의 심의를 받았으며, 연구 방법과 연구 중 측정요소에 대해 환아 및 보호자에게 설명 및 동의를 구하고 동의서를 받았다. 5 프리즘디옵터(PD) 이상의 외편위가 있는 6세에서 12세 사이의 환아를 모집하여 총 23명이 본 연구에 포함되었다. 모집된 환아들은 연구 시작 전에 굴절검사, 세극등현미경검사, 안저사진촬영, 프리즘교대가림검사 및 근거리 입체시검사(Stereo Fly, Stereo Optical Co., Chicago, IL, USA)를 시행 받았다. 검사 결과 외편위와 굴절이상 외에 최대교정시력이 1.0 미만이거나, 2.00디옵터(D) 이상의 부등시가 있거나, 근거리 입체시가 60초각(arc seconds)보다 불량한 경우 및 다른 구조적 안과 질환이 있는 경우는 연구 대상에서 제외하였다.

환아들은 3D TV를 통해 3D 영상을 50분간 시청하였으며, 시청 직후에 환아들의 굴절이상 및 사시각을 측정하고,

환아들에게 10분 동안 근거리 작업을 제외한 자유활동을 하면서 휴식을 취하도록 한 후 동일한 검사를 다시 시행하였다. 굴절 이상은 자동굴절검사계(RK-F1, Canon, Japan)를 이용하여 3회 측정한 후 평균값을 취하였으며, 사시각은 숙련된 안과 전문의 1명이 6미터와 33센티미터 거리에서 프리즘교대가림검사를 통해 측정하였다. 3D TV는 서터 안경을 이용한 것(UN55D6900WF, 삼성전자)과 편광안경을 이용한 것(55LW5700(B), LG전자) 두 종류를 번갈아 사용하였으며, 모니터의 크기는 55인치(139 cm)로 3D 영상 시청은 5럭스(lux)의 밝기에서 2.8미터(meter)의 거리를 두고 이루어졌다. 시청 거리는 TV manufacturer and International Telecommunication Union의 권고안을 따른 것으로 55인치 HDTV에 대하여 2.2미터 이상 2.9미터 이하의 시청 거리를 권장하고 있다. 본 연구에 사용된 3D 영상물은 한국방송공사에서 3D TV 시범방송용으로 제작한 영상으로 좌안과 우안에 전달되는 영상의 차이를 반영하는 영상 변이도(disparity)는 -1에서 1도 사이였다.

통계 분석에는 PASW Statistics 18 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 3D TV 시청 전, 시청 직후, 10분 후의 외편위각 및 굴절이상 변화 여부를 확인하고 변수 간의 상관관계를 파악하기 위하여 반복측정 분산분석(repeated measure ANOVA)을 시행하고 Spearman rank correlation coefficient를 구하였으며, *p* 값이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의한 것으로 판단하였다.

결 과

환아들의 평균 연령은 9.30 ± 1.58 (7-12)세였으며 남아 9명(39.1%), 여아 14명(60.9%)이었다. 3D TV를 시청하기 전 평균 외편위각은 13.04 ± 5.25 (6-30) 프리즘디옵터였고, 시청 직후는 12.96 ± 5.11 (4-30), 10분 후는 12.61 ± 5.37 (4-30) 프리즘디옵터로 각 시점에서 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.452$). 3D TV 시청 전 우안과 좌안의 평균 굴절 이상은 각각 -2.15 ± 1.55 (-0.25~-6.50), -2.06 ± 1.55 (0.00~-5.75)디옵터였고 시청 직후는 각각 -2.14 ± 1.57 (0.00~-6.50), -2.11 ± 1.45 (-0.25~-5.13)디옵터, 10분 후는 각각 -2.14 ± 1.53 (0.00~-6.25), -2.07 ± 1.53 (+0.25~5.50)디옵터로 각각의 변화는 통계적으로 유의하지 않았다($p=0.991$, 0.495). 3D TV 시청 전과 후의 굴절이상 변화를 Table 1에, 시청 전 외편위각과 여러 변수들 사이의 상관분석 결과를 Table 2에 나타내었다. 시청 직후 양안의 근시 증가량을 합한 값은 3D TV 시청 전 외편위각 크기와 유의한 상관관계를 보였으나($r=0.468$, $p=0.024$, Fig. 1), 10분 휴식 후에는 유의한 상관관계가 관찰되지 않았다($r=0.345$, $p=0.107$) (Table 3).

Table 1. Change in the refractive error (diopter) and the angle of exodeviation (prism diopter) after watching 3D TV

	Before watching 3D TV	Immediately after watching 3D TV	After a 10-minute rest	p-value
Angle of exodeviation (prism diopter)	13.04 ± 5.25	12.96 ± 5.11	12.61 ± 5.37	0.452
Refractive error (right eye) (diopter)	-2.15 ± 1.55	-2.14 ± 1.57	-2.14 ± 1.53	0.991
Refractive error (left eye) (diopter)	-2.06 ± 1.55	-2.11 ± 1.45	-2.07 ± 1.53	0.495

Repeated measure ANOVA; Values are presented as mean ± SD.

Table 2. Correlation coefficient between the amount of myopic shift immediately after watching 3D TV and the baseline angle of exodeviation

Changes immediately after watching 3D TV	Correlation coefficient between each variables and the baseline angle of exodeviation (r*)	p-value
Change in angle of exodeviation	-0.355	0.097
Amount of myopic shift (right eye)	0.304	0.158
Amount of myopic shift (left eye)	0.309	0.152
Amount of myopic shift (both eyes)	0.468	0.024 [†]

*Spearman rank correlation coefficient; [†]p-value < 0.05.

Table 3. Correlation coefficient between the amount of myopic shift after a 10-minute rest and the baseline angle of exodeviation

Changes after a 10-minute rest	Correlation coefficient between each variables and the baseline angle of exodeviation (r*)	p-value
Change in angle of exodeviation	0.027	0.903
Amount of myopic shift (right eye)	0.264	0.224
Amount of myopic shift (left eye)	0.355	0.096
Amount of myopic shift (both eyes)	0.345	0.107

*Spearman rank correlation coefficient.

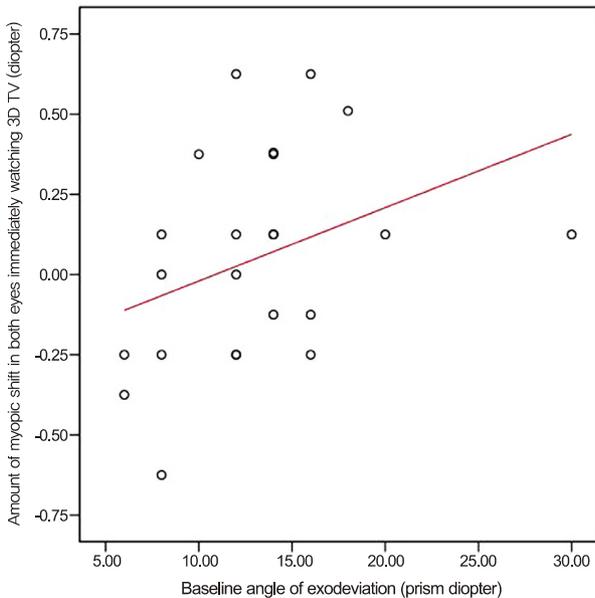


Figure 1. Correlation between the amount of myopic shift in both eyes immediately after watching 3D TV and the baseline angle of exodeviation.

고 찰

Kim et al^{5,6}은 3D 영상물을 시청할 때 외사위나 간헐의

사시 환자들이 정상군이나 내사시군보다 더 많은 두통이나 눈피로감, 어지러움 등 3D 피로(3D asthenopia) 증상이 나타났다고 보고하였으며, 그 이유는 외편위 환자들이 3D 영상물을 시청할 때 눈모음 요구도(convergence demand)가 더 크기 때문일 것으로 추정하였다. 입체시가 불량한 내사시 환자들은 3D 피로 증상이 거의 보이지 않았으나 영상물의 입체감을 느끼지 못하는 경우가 많은 반면 입체시가 우수한 외사시 환자일수록 3D 피로를 더 많이 호소하였음을 확인하였으며,⁷ 이는 외사시 환자들에서 더 많은 눈모음 요구가 있었다는 것을 뒷받침한다고 할 수 있다. 또한 외사시 수술을 시행하여 눈모음의 요구가 감소한 경우 위와 같은 3D 피로감이 확연히 줄어들었다고도 보고하였다.⁶

최근에 발표된 Suh et al¹¹의 연구에서는 50-70 cm 거리에서 컴퓨터 모니터를 통해 3D 영상물을 2시간 이상 시청한 후 -0.36디옵터의 일시적인 근시 변화가 나타났다고 하였는데, 이로부터 근거리에서 장시간 동안 3D 영상물을 시청하는 경우 과도한 조절이 일어나게 됨을 추정할 수 있다. 이 근시 변화는 2D 영상물 시청 시보다 더 크게 나타났으며 이는 3D 영상물 시청 시 2D 영상물보다 더 많은 눈모음과 조절이 발생하였다는 것을 보여준다. 본 연구에서 3D TV의 시청 거리를 2.8 m로 하고 50분간 영상물을 시청한 후 10분 동안 휴식을 취하게 한 것은 조절과 눈모음을 최소

화시켜 안전한 3D TV 시청을 위한 가이드라인을 제시하려고 한 것에 그 목적이 있다.

2013년 외사시나 내사시 등의 안과적 질환이 없는 6세에서 12세 사이의 정상 학동기 아동 60명을 대상으로 유사한 연구를 진행한 결과 근시 유무에 관계 없이 2.8 m 거리에서 1시간 가량의 3D 영상물의 시청으로는 근시가 유발되지 않았다는 보고가 있었다.¹⁴ 이 연구에서 31명은 3D 영상물 시청 직후에 평균 -0.29디옵터의 근시 변화가 발생하였으나, 10분간 휴식을 취한 후에는 모두 소실되었다. 이 결과는 성인과 달리 조절력이 강한 학동기 연령의 소아라 할지라도 권고안에 따른 안전 거리(TV manufacturer and International Telecommunication Union, TV 세로길이의 3-4배)에서 단시간 시청하고 휴식을 취하는 경우 안전하게 3D 영상물을 시청할 수 있음을 시사한다고 할 수 있겠다.

본 연구는 같은 연령대의 학동기 아동 중 외편위가 있어 3D 영상물 시청 시 눈모음의 요구가 큰 환자들에서 더 많은 조절이 유발되는지를 알아보려고 한 연구이다. 다양한 굴절이상을 갖는 6-12세의 외편위 환아를 대상으로 3D TV를 50분간 시청하고 10분간 휴식을 취하게 한 후 굴절이상의 변화를 평가한 결과, 3D TV 시청 직후 및 10분 휴식 후 굴절이상에 유의한 변화가 나타나지 않았다. 외편위 환자의 경우 눈모음의 요구가 커서 조절에 더 큰 영향을 미치고 이것이 3D TV 시청 후에 근시 변화를 촉진시킬 가능성이 있다고 생각하였으나, 본 연구에서 외편위 환자의 3D TV 시청은 굴절이상에 유의한 영향을 보이지 않았다. 또한 3D TV 시청 시 유발되는 눈모음에 의한 외편위각의 감소도 통계적으로 유의하지 않았다. 적어도 본 연구에서와 유사한 조건에서 3D TV를 시청한다면 외사시 환아라도 굴절이상이나 외편위각에 큰 영향 없이 비교적 안전하게 3D TV를 시청할 수 있을 것으로 생각한다. 단, 3D TV를 시청한 직후에는 외편위각이 클수록 근시 증가가 크게 나타나는 경향이 있었다. 이러한 상관관계는 10분간 휴식을 취한 후에는 관찰되지 않아 큰 의미가 없을 가능성도 있으나, 향후 더 많은 환자를 대상으로 하고 2D TV를 대조군으로 설정하는 등 연구 설계를 달리한 추가 연구가 필요할 것으로 생각한다.

결론적으로, 조절과 눈모음이 심하게 발생할 수 있는 학동기 연령의 외편위 환자들도 기존의 가이드라인을 준수하면서 3D TV를 시청한다면 과도한 굴절이상이나 외편위각

의 변화 없이 안전하게 3D TV를 시청할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- 1) Schowengerdt BT, Seibel EJ. True three-dimensional displays that allow viewers to dynamically shift accommodation, bringing objects displayed at different viewing distances into and out of focus. *Cyberpsychol Behav* 2004;7:610-20.
- 2) Lambouij M, Fortuin M, Heynderickx I, IJsselstein W. Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: a review. *J Imaging Sci Technol* 2009;53:30201-1.
- 3) 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.
- 4) Howarth PA. Potential hazards of viewing 3-D stereoscopic television, cinema and computer games: a review. *Ophthalmic Physiol Opt* 2011;31:111-22.
- 5) 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.
- 6) Kim SH, Suh YW, Yun CM, et al. 3D asthenopia in horizontal deviation. *Curr Eye Res* 2013;38:614-9.
- 7) Kim SH, Suh YW, Yun C, et al. Influence of stereopsis and abnormal binocular vision on ocular and systemic discomfort while watching 3D television. *Eye (Lond)* 2013;27:1243-8.
- 8) Iwasaki T, Tawara A. [The accommodative characteristics of gazing at stereoscopic images on a 3-D display]. *Nihon Ganka Gakkai Zasshi* 2004;108:5-11.
- 9) Ciuffreda KJ, Vasudevan B. Nearwork-induced transient myopia (NITM) and permanent myopia--is there a link? *Ophthalmic Physiol Opt* 2008;28:103-14.
- 10) Arunthavaraja M, Vasudevan B, Ciuffreda KJ. Nearwork-induced transient myopia (NITM) following marked and sustained, but interrupted, accommodation at near. *Ophthalmic Physiol Opt* 2010;30:766-75.
- 11) Suh YW, Oh J, Kim HM, et al. Three-dimensional display-induced transient myopia and the difference in myopic shift between crossed and uncrossed disparities. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012;53:5029-32.
- 12) Horwood AM, Riddell PM. Evidence that convergence rather than accommodation controls intermittent distance exotropia. *Acta Ophthalmol* 2012;90:e109-17.
- 13) Ekdawi NS, Nusz KJ, Diehl NN, Mohny BG. The development of myopia among children with intermittent exotropia. *Am J Ophthalmol* 2010;149:503-7.
- 14) Seo HJ, Kim SH, Suh YW, et al. Influence of watching 3D television on refractive error in children. *Proceedings of 3DSA* 2013;2:2.

= 국문초록 =

외편위 환자에서 3D TV 시청이 사시각 및 굴절이상에 미치는 영향

목적: 외편위 환자에서 3D TV 시청이 사시각 및 굴절이상에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 외편위가 있는 6-12세의 환자 23명을 모집하여, 50분간 3D TV를 시청하도록 하였다. 시청 거리는 2.8미터였으며, 3D 영상의 영상변이는 -1~1도였다. 시청 전과 시청 직후, 그리고 10분간 휴식을 취한 후에 원거리 사시각 및 굴절이상을 측정하여 변화를 분석하였다.

결과: 대상 환자의 평균 연령은 9.30 ± 1.58 세였다. 시청 전 외편위각은 13.04 ± 5.25 (6-30) 프리즘디옵터(PD)였고, 시청 직후는 12.96 ± 5.11 (4-30) PD, 시청 10분 후는 12.61 ± 5.37 (4-30) PD로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.452$). 시청 전 우안과 좌안의 굴절이상은 각각 -2.15 ± 1.55 , -2.06 ± 1.55 디옵터(D)였고 시청 직후는 각각 $-2.14 \pm 1.57D$, $-2.11 \pm 1.45D$, 시청 10분 후는 각각 $-2.14 \pm 1.53D$, $-2.07 \pm 1.53D$ 로 통계적으로 유의한 차이가 없었다(각 $p=0.991$, 0.495). 3D TV 시청 전과 비교하여 시청 직후 양안의 근시 증가량은 외편위각과 유의한 상관관계를 보였으나($r=0.468$, $p=0.024$), 10분 휴식 후에는 상관관계를 보이지 않았다($r=0.345$, $p=0.107$).

결론: 외편위 환자에서 3D TV 시청은 사시각과 굴절이상에 유의한 영향을 보이지 않았다. 외편위각이 클수록 3D TV 시청 후 일시적인 근시 증가가 나타날 수 있으며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각한다.

〈대한안과학회지 2014;55(10):1525-1529〉
