

가상현실기기 사용이 눈피로에 미치는 영향 평가 연구

Relationship between Ocular Fatigue and Use of a Virtual Reality Device

이상혁¹ · 김마르다^{1,2} · 김효선³ · 박철용^{1,2}

Sang Hyeok Lee, MD¹, Martha Kim, MD, PhD^{1,2}, Hyosun Kim, PhD³, Choul Yong Park, MD, PhD^{1,2}

동국대학교 일산병원 안과¹, 동국대학교 감각기관연구소², 삼성디스플레이주식회사 디스플레이연구소³

Department of Ophthalmology, Dongguk University Ilsan Hospital¹, Goyang, Korea

Sensory Organ Research Center, Dongguk University², Goyang, Korea

Display R&D Center, Samsung Display Co., Ltd³, Yongin, Korea

Purpose: To investigate ocular fatigue after the use of a head-mounted display (HMD)-type virtual reality device.

Methods: Healthy adult volunteers were examined for ocular fatigue before and after watching videos for 10 min with an HMD-type virtual reality device. Subjective ocular fatigue was measured using a questionnaire. Objective fatigue was measured using the critical flicker fusion frequency (CFF), high frequency component of accommodative microfluctuation, and accommodation amplitude. The accommodation amplitude was measured using the push-up method and the dynamic measurement mode of the autorefractometer. Changes in the spherical equivalent were also measured.

Results: The questionnaire-based subjective ocular fatigue increased ($p = 0.020$) after use of the HMD device. In the dominant eye, the high frequency component of accommodative microfluctuation increased ($p < 0.05$). The accommodation amplitude using the push-up method was decreased in the nondominant eye ($p = 0.007$), and temporary myopia was observed ($p < 0.05$). However, there was no increase in ocular fatigue in the CFF or the accommodation amplitude using the dynamic measurement mode, which showed no significant difference before and after using the HMD device ($p > 0.05$).

Conclusions: A subjective test and some objective tests suggested that use of the HMD-type virtual reality display increased ocular fatigue. However, no increase in ocular fatigue was measured using CFF nor in the accommodation amplitude using the dynamic measurement mode which was a limitation of the study. More studies with the aim to alleviate ocular fatigue after using HMD-type virtual reality devices are therefore needed.

J Korean Ophthalmol Soc 2020;61(2):125-137

Keywords: Asthenopia, Head mounted display, Virtual reality

가상현실(virtual reality, VR)이란 어떤 특정한 환경이나

상황을 컴퓨터를 이용하여 구현하고, 사용자가 실제로 주변 상황이나 환경과 상호작용하는 것처럼 만들어주는 인간-컴퓨터 사이의 인터페이스를 의미한다. 이러한 VR은 현재 게임, 영상 감상, 교육, 의료 등에 활발히 사용하고 있으며 그 이용 범위가 점차 확대되고 있다.

최근 널리 사용되는 형태의 VR 기기는 head mounted display (HMD) 형태의 기기로 시청자에게 3차원의 넓은 시야를 높은 몰입도와 함께 현장감 있게 제공한다. 그러나 VR 기기를 통한 영상 시청은 사용자에게 눈피로나 어지러움 등의 부작용이 생길 수 있다.^{1,2} 한 연구에서는 서로 다른 형

■ Received: 2019. 8. 16.

■ Revised: 2019. 9. 19.

■ Accepted: 2020. 1. 22.

■ Address reprint requests to Choul Yong Park, MD, PhD
Department of Ophthalmology, Dongguk University Ilsan Hospital, #27 Dongguk-ro, Ilsandong-gu, Goyang 10326, Korea
Tel: 82-31-961-7395, Fax: 82-31-961-7977
E-mail: oph0112@gmail.com

* This work was supported by Samsung Display Co., Ltd.

* This study was presented as a e-poster at The 122nd Annual meeting of the Korean Ophthalmological Society 2019.

© 2020 The Korean Ophthalmological Society

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

태의 VR 방식인 HMD, 데스크톱 모니터, 영상기와 광시아 곡면 디스플레이를 이용한 VR들에 의한 불편감을 각각 비교하였으며, 이 때 HMD 형태의 VR이 가장 심한 오심, 어지러움, 방향감각 상실을 보였다고 보고하였다.³ 국제표준화기구(International Organization for Standardization)에서도 최근 이러한 VR 기기를 설계할 때 눈피로를 최소화시킬 것을 권고하고 있어 VR 기기의 눈피로에 대한 평가와 평가 방법에 대한 연구가 필요한 실정이다.⁴

3차원 디스플레이로 인한 눈피로는 환자의 주관적 검사와 객관적인 검사를 통한 평가를 이용하여 다각적으로 평가할 수 있다.⁵ 주관적 검사로는 정신물리학적 척도(psychophysical scaling), 설문조사, 실험적 척도검사(exploratory studies) 등이 알려져 있고, 객관적 검사로는 조절 눈모음 반응(accommodative and vergence responses), 동공의 움직임, 조절눈모음비, 사시각, 시력 및 입체시 검사, 뇌파검사 등이 과거 유용한 지표로 제시되었다.⁵ 그러나 이러한 객관적 지표들이 VR 기기 시청으로 인한 미세한 눈피로의 변화를 정확히 반영하는지 여부는 아직 불확실하다.

본 연구에서는 최근에 소개된 HMD 형태의 VR이 눈피로에 주는 영향을 알아보고자 하였다. 피로 평가를 위한 주관적 검사로 눈과 전신 피로에 대한 설문조사를 시행하였고, 객관적 눈피로 검사로는 조절미세파동의 고진동수 영역(high frequency component of accommodative micro-fluctuation)을 이용한 동공의 움직임 변화와 임계플리커융합빈도(critical flicker fusion frequency)를 사용하였다. 또한, Push-up method와 자동굴절검사의 동적조절력검사(dynamic accommodation measurements) 기능을 사용한 조절력 평가를 시행하였다.

대상과 방법

본 연구는 헬싱키선언(Declaration of Helsinki)을 준수하였으며, 동국대학교 일산병원 의학연구 윤리심의위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인(승인 번호: 2018-06-006)을 얻어 진행하였다. 건강한 만 20세에서 만 50세 사이의 지원자를 대상으로 연구를 진행하였다. 대상자들은 연구에 참여하기 전 안과적 검진을 시행하여 녹내장이나 백내장 등 교정시력과 시야에 영향을 미칠 수 있는 안질환이 있는 경우, 8프리즘디옵터 이상의 사시가 있는 경우, 굴절이상인 -6D to +6D를 초과하는 경우, 난시가 -2D를 초과하는 경우 그리고 양안의 최대교정시력이 각각 0.6 이하인 경우는 모두 연구 대상자에서 제외하였고, 과거 굴절교정수술을 제외한 각막 또는 수정체에 대한 수술을 받은 과거력이 있는 대상자도 본 연구에서 제외하였다. 연구에 참여가 결정된 대상

자들은 주관적인 노안증상 유무와 가상현실기기 사용 경험 및 멀미 경험 유무에 대한 설문을 실시하였다(Appendix 1). 연구에서 조명환경은 자연채광이 없고 형광등이 켜진 동일한 방에서 진행했다. 방의 조도는 조도계(GM-1020, Benetech, Shenzhen, China)를 사용해 10회 측정했을 때 평균 750 lux 였다.

가상현실기기는 HMD (XQ800ZAA-HC1KR, Samsung Electronics, Yongin, Korea) 형태의 장치를 사용하였다(Fig. 1). 가상현실기기의 디스플레이 종류는 Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode (AMOLED)이며, 해상도는 1,440 × 1,600픽셀, 주사율은 60 Hz, 시야각은 110° 범위였다. 대상자는 가상현실기기를 착용하고 동일한 영상물을 10분간 시청하였다.

우세안은 반대쪽 눈보다 시각 정보를 더 선호하여 받아들여서는 성향이 있는 경우를 말하며 유전적 경향성이 있는 것으로 알려져 있다.⁶ 우세안으로 볼 때는 비우세안보다 더 정확하고 깨끗하게 보이며, 프리즘 등으로 복시를 유발했을 때 복시가 발생하는 역치가 더 크다.⁷ 본 연구에서 우세안은 Hole-in-the-card test를 이용하여 확인하였다. 중심



Figure 1. Head mounted display (HMD) based virtual reality (VR) display (XQ800ZAA-HC1KR, Samsung Electronics, Yongin, Korea). Subjects watched video for 10 minutes with VR device.

에 3 cm의 둥근 구멍이 뚫린 검은 카드를 들고 4 m 떨어진 곳의 사물을 양안으로 주시하게 하면서 양안을 교대로 가려 검사하였을 때, 구멍을 통하여 마지막까지 사물을 볼 수 있는 방향의 눈을 우세안으로 결정하였다.⁸

피로에 대한 설문으로는 Ames et al⁹가 제시한 눈과 전신 증상에 대한 설문지(virtual reality symptom questionnaire)를 변형하여 사용하였다. 설문지는 눈피로와 관련한 증상 4문항과 전신 피로와 관련된 7문항으로 구성되었다. 각 문항마다 피로의 따라 증상이 전혀 없음(1점)부터 매우 심함(7점)까지 제시하였고 피로는 각 항목의 점수를 더하여 계산하였다(Appendix 2). 설문 작성에는 시청 전후에 각각 1분 정도가 소요되었다.

조절미세파동의 고진동수 영역 검사는 조절연축으로 인한 눈피로를 객관적으로 측정하기 위한 방법 중 하나이다. 조절미세파동은 0.6 Hz 미만의 저진동수 영역과 1.0-2.3 Hz 이상의 고진동수 영역으로 나눌 수 있다.¹⁰ 이 중 고진동수 영역은 수정체의 조절력이 미세하게 계속적으로 변동하는 것을 반영한다고 알려져 있다.¹¹ 수정체의 조절력이 지속적으로 변화하게 되면 섬모체근이 수축과 이완을 반복하게 되는데 이때 섬모체근에 부담을 주며 눈피로를 유발할 수 있다.^{12,13} Kajita et al¹⁰은 특히 안정 시 발생하는 조절미세파동이 눈피로 환자에서 유의하게 증가할 수 있다고 보고하였다. 조절미세파동과 구면렌즈대응치(spherical equivalent)는 자동굴절검사기(Speedy-i, Right Mfg Co., Tokyo, Japan)를 이용해 측정하였으며, 측정 방법은 대상자의 원거리 시력을 교정한 후 +0.25디옵터부터 -3.25디옵터까지 0.5디옵터 단위로 증가하는 조절 자극 목표를 바라보게 하면서, 지속적으로 굴절력과 조절미세파동을 측정한다. 고진동수 영역의 조절미세파동은 조절자극량에 따라 변화하는데 변화

된 굴절량을 해닝 창함수(Hanning window)를 이용한 고속 푸리에 변환(fast fourier transformation)에 따라 파워스펙트럼 곡선을 그리고 고진동수 영역에 해당하는 1.0-2.3 Hz 영역을 적분해 조절미세파동의 고진동수 영역을 측정하여 자동적으로 계산되어 제시된다(Fig. 2).^{13,14} 고진동수 영역은 낮은 조절 자극(+0.50 to -0.75디옵터)에서 산출한 high frequency component (HFC) 1값, 높은 조절 자극(-1.00 to -3.00디옵터)에서 산출한 HFC2값, 그리고 전체 조절 영역(+0.50 to -3.00디옵터)에서 산출한 total HFC로 나누어 분석하였다. 조절미세파동의 고진동수 영역검사는 시청 전후에 각각 3분 정도가 소요되었다.

임계플리커융합빈도는 사람이 점멸하는 광원을 보고 점멸을 탐지할 수 있는 최대 범위의 점멸 빈도를 말하는데, 임계플리커융합빈도 이상의 점멸 빈도에서는 점멸하는 광원이 연속적으로 빛을 발하는 것으로 보인다. 검사 중 피검자는 광원의 점멸이 인지되지 않는 시점까지 시간당 점멸 회수를 증가시켜 임계플리커융합빈도를 찾는 방법을 상승법(ascending method)라 하고 일정 점멸 회수의 광원을 보여준다 시간당 점멸 회수를 감소시켜 광원의 점멸이 보이는 시점을 임계플리커융합빈도로 하는 방법을 하강법(descending method)라 한다.^{15,16} 임계플리커융합빈도는 시각시스템에서 대뇌의 영역을 포함하는 고위 기능의 활성도를 반영하고 눈피로에 대한 평가에 널리 사용되고 있다.¹⁷ 피로가 증가하면 임계플리커융합빈도는 감소하고 그 차이가 5% 이상이면 유의미한 차이가 있다고 볼 수 있다.^{17,18} 본 연구에서는 임계플리커융합빈도(Critical Flicker Fusion Frequency) 측정기(Model 12021A, Lafayette Instrument Company, Lafayette, IN, USA)를 이용하여 검사를 시행하였고 상승법과 하강법을 각각 3회 시행해 평균을 구하였다

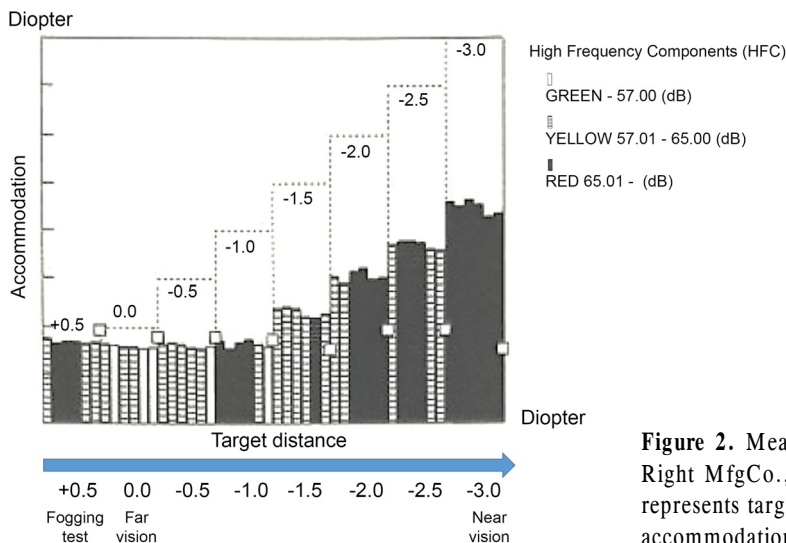


Figure 2. Measurement report of auto refractometer (Speedy-i, Right MfgCo., Tokyo, Japan). The horizontal axis of the graph represents target distance and vertical axis of the graph represents accommodation responses.

(Fig. 3). 임계플리커융합빈도검사는 시청 전후에 각각 7분 정도가 소요되었다.

근거리 작업은 홍채 섬모체근육의 구축과 조절 경련을 일으켜 조절 기능의 저하를 유발할 수 있다.¹⁹ 이러한 조절 기능의 저하는 눈피로에 악영향을 줄 수 있다고 알려져 있다.^{19,21} 본 연구에서 객관적 방법과 주관적 방법으로 조절력을 평가해 보았다.

자동굴절검사기의 동적조절력검사기능을 사용하여 객관적인 시청 전후의 조절력의 변화를 평가하였다. 측정 장비는 WAM-5500 (Grand Seiko, Hiroshima, Japan) 자동굴절검사기를 사용하였다(Fig. 4). 피검자의 원거리 굴절이상을 교정한 상태에서 한 쪽 눈을 가리고 눈 앞 25 cm부터 100 cm 구간에서 반복하여 등속도로 이동하는 시표를 이용하여 조절을 자극하고 이 때 피검자의 주시안의 굴절률을 연속적으로 측정하여 이를 조절력으로 환산하였다. 우안과 좌안 각각 3회 반복 측정 후 평균값을 사용하였다. 일반적으로 Push-up method나 마이너스렌즈를 이용한 방법을 통해 조절력을 측정할 수 있으나 이는 주관적인 방법으로 피검자의 피로, 조도 등의 영향에 의해 객관적 평가가 어렵다.²² 이에 반하여 동적조절력검사는 자동굴절검사기 앞에 시표를 두고 시표를 앞뒤로 움직일 때 피검자의 조절 기능의 변화를 측정하여 객관적이고 조절의 정성적인 분석이 가능하다는 장점이 있다.^{22,23} 검사는 시청 전후에 각각 5분 정도가 소요되었다.

Push-up method를 사용한 주관적 조절력평가도 시행하였다. 굴절이상을 교정하고 40 cm 거리에서 한 눈을 가린 후 Royal Air Force rule (RFA, Good-Lite Company, Elgin,

IL, USA)와 시표(Fixation stick, Good-Lite Company)를 피검자의 가리지 않은 눈 앞으로 가까이 당기면서 최초 흐림이 발생하는 거리를 3회 이상 반복 측정하여 조절 근점을 확인하였고 그 역수를 구해 조절력을 디오퍼터 단위로 측정하였다.²⁴ 검사는 시청 전후에 각각 5분 정도가 소요되었다.

연구는 먼저 병력 확인, 세극등현미경검사 등 기초 검진을 하여 대상자 선정이 완료되면, 눈과 전신 증상에 대한 설문조사를 시행하였다. 이후 순서대로 조절미세파동의 고진동수 영역검사, 임계플리커융합빈도, 동적조절력검사, Push-up method를 이용한 조절력검사를 시행한 뒤 HMD 형태의 가상현실기기로 영상을 10분간 시청하였다. 시청 후 다시 눈과 전신 증상에 대한 설문조사부터 순서대로 조절미세파동의 고진동수 영역검사, 임계플리커융합빈도, 동적조절력검사, Push-up method를 이용한 조절력검사를 시행하여 검사를 완료하였다.

가상현실기기로 영상을 시청할 때와 임계플리커융합빈도검사, 동적조절력검사, Push-up method를 조절력검사에서는 피험자가 사용할 경우 사용하던 안경을 착용하였고, 착용하지 않던 경우에는 착용하지 않도록 하여 피험자의 평상시와 같도록 하였다. 조절미세파동의 고진동수 영역검사에서는 모든 대상자에서 안경을 착용하지 않고 기기에 내장된 굴절 교정 기능 사용하여 검사를 시행하였다. 콘택트렌즈를 착용한 피험자는 없었다.

통계분석은 SPSS 21.0 for Windows (IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하였다. 가상현실기기 시청 전후에 따른 설문점수, 눈피로와 조절력의 변화는 본 연구 대상자 수가 34명으로 연속형 자료로 판단되어 모수적 방법을 이용하여



Figure 3. Flicker fusion frequency tester (Model 12021A, Lafayette Instrument Company, Lafayette, IN, USA). It can measure threshold frequency where a flickering light is perceived as continuous, defined as the critical flicker fusion frequency.



Figure 4. Auto refractometer (WAM-5500 Grand Seiko, Hiroshima, Japan). Objective refraction was measured under single viewing conditions. Moving target stimulate accommodation and auto refractometer measure amplitude of accommodation dynamically.

작지는 *t*-검정을 통해 분석하였다. 우세안과 비우세안 간에 차이에 따라 설문 점수, 눈피로, 조절력의 변화와 구면렌즈 대응치의 변화를 작지는 *t*-검정을 통해 분석하였다. 노안 유무와 가상현실기기 사용 경험 유무에 따라 두 군으로 나눈 뒤 가상현실기기 시청 전후 임계플리커융합빈도, Push-up method를 사용한 조절력의 변화를 분석하였다. 이때 각각 두 군으로 대상자를 나누면 표본 수가 적어져 정규성을 띠지 않아 비모수적 방법인 Mann-Whitney *U* test를 이용해 비교하였다. 모든 통계 분석에서 *p*-value는 0.05 미만인 경우 통계적으로 유의성이 있다고 분석하였다.

결 과

총 34명의 피험자가 연구에 참여하였으며, 평균 연령은 35.3 ± 7.6 세였고 남성 18명, 여성 16명이 포함되었다. 피험자 중 24명은 우안이 우세안이었고 10명은 좌안이 우세안이었다. 대상자의 우세안의 원거리 최대교정시력(진용한시력표)은 1.51 ± 0.23 , 비우세안의 원거리 교정시력은 1.48 ± 0.20 이었으며, 우세안과 비우세안 간에 유의한 차이는 없었다($p=0.708$). 평균 안압은 우세안에서 13.5 ± 2.6 mmHg, 비우세안에서 13.5 ± 2.5 mmHg이었다($p=0.919$). 굴절이상의 구면렌즈대응치는 우세안 $-1.74 \pm 1.91D$ 와 비우세안

$-1.62 \pm 1.94D$ 로 유의한 차이는 없었다($p=0.244$) (Table 1).

피로에 대한 설문에서는 가상현실기기시청 후 총 점수는 유의하게 피로의 총점이 증가하였다($p=0.020$). 전신적인 피로와 눈피로로 나누어 분석하였을 때 전신 피로는 가상현실기기 시청 후 증가하는 경향이 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다($p=0.084$). 그러나, 눈피로는 가상현실기기 시청 후에 유의하게 증가하는 것으로 확인되었다($p=0.009$) (Table 2). 가상현실기기 시청으로 인한 구면렌즈대응치의 변화는 시청 후에 우세안과($p=0.006$), 비우세안($p=0.029$)에서 모두 근시로 진행하는 것이 확인되었다(Table 3).

조절미세파동의 고진동수 영역검사는 조절자극량에 따라 HFC1, HFC2, Total HFC로 나누어 분석하였다. HFC1, HFC2, Total HFC 모두 우세안과 비우세안에서 가상현실기기 시청 후 증가하였으며, 특히 우세안에서는 유의한 증가가 관찰되었다(Table 3). 임계플리커융합빈도검사에서는 우세안($p=0.001$)과 비우세안($p=0.001$) 모두 시청 전과 후에 유의한 임계플리커융합빈도의 증가가 관찰되었다(Table 3).

Push-up method를 사용한 주관적 조절력검사에서는 시청 후에 조절력이 감소하였으며, 특히, 비우세안에서는 조절력 감소가 통계적으로 유의하였다($p=0.007$). 자동굴절검사기를 이용한 객관적인 동적조절력검사에서는 우세안과 비우세안 모두 가상현실기기 시청 전후 통계적으로 유의한 변화는 관찰되지 않았다(Table 3).

Push-up method를 사용한 주관적 조절력검사와 자동굴절검사기를 이용한 객관적인 동적조절력검사 간에 차이를 비교해 보았다. 시청 전 우세안($p=0.000$)과 비우세안($p=0.000$) 모두 Push-up method를 사용한 주관적 조절력검사에서 유의하게 값이 더 크게 측정되었다. 시청 후도 시청 전과 마찬가지로 우세안($p=0.000$)과 비우세안($p=0.000$) 모두 Push-up method를 사용한 주관적 조절력검사에서 값이 더 크게 측정되었다(Table 4).

가상현실기기 시청이 우세안과 비우세안에 서로 다른 영향을 미치는지는 않는지 평가하기 위하여 우세안과 비우세안 간에 가상현실기기 시청 전후의 임계플리커융합빈도, 조절미세파동의 고진동수 영역검사(HFC1, HFC2, Total HFC), 조절력검사 및 구면렌즈대응치의 변화량을 서로 비교하였

Table 1. Subjects characteristics

Variable	Value	<i>p</i> -value*
Age (years)	35.3 ± 7.6	
Sex (male:female)	18 (53):16 (47)	
Dominant eye (right:left)		
Visual acuity	24 (71):10 (29)	0.708
Dominant eye	1.51 ± 0.23	
Nondominant eye	1.48 ± 0.20	
Intraocular pressure (mmHg)		0.919
Dominant eye	13.5 ± 2.6	
Nondominant eye	3.5 ± 2.5	
Spherical equivalent (diopters)		0.244
Dominant eye	-1.74 ± 1.91	
Nondominant eye	-1.62 ± 1.94	

Values are presented as mean \pm standard deviation or number (%).

*Paired *t*-test.

Table 2. The changes of modified VQRS Score before and after watching virtual reality device

Characteristic	Pre VR	Post VR	Difference	<i>p</i> -value*
General body symptoms related modified VQRS score	9.62 ± 2.98	11.03 ± 4.32	1.41 ± 4.61	0.084
Eye symptom related modified VQRS score	5.18 ± 1.31	6.68 ± 3.10	1.50 ± 3.17	0.009
Total modified VQRS score	14.79 ± 4.01	17.71 ± 6.76	2.91 ± 6.97	0.020

Values are presented as mean \pm standard deviation.

VQRS = virtual reality symptom questionnaire; VR = virtual reality.

*Paired *t*-test.

다. 임계플리커융합빈도, 조절미세파동의 고진동수 영역검사, Push-up method를 사용한 주관적 조절력평가, 동적조절력검사, 구면렌즈대응치에서는 시청 전과 후에 우세안과 비우세안 간에 변화량의 유의한 차이는 관찰되지 않았다 ($p>0.05$).

본 연구의 대상자들은 연구에 참여하기 전, 18%가 노안의 증상을 경험한 적이 있었으며, 38%의 대상자는 3년 이

내 가상현실기기를 사용해 본 경험이 있었다(Table 5). 노안 증상 경험(Table 6)이나 3년 이내 가상현실기기 사용 경험(Table 7)과 같은 사전 경험 여부에 따라 조절미세파동의 고진동수 영역검사, 임계플리커융합빈도검사, 동적조절력검사, Push-up method를 사용한 주관적 조절력검사의 4개 검사 항목의 시청 전후의 변화에는 유의한 차이가 없었다 ($p>0.05$).

Table 3. The changes of factors associated with ocular fatigue before and after watching virtual reality device

Variable	Eyes	Pre VR	Post VR	Difference	p-value*
HFC1 (dB)	Dominant	62.28 ± 4.40	63.69 ± 4.16	1.41 ± 3.27	0.017
	Nondominant	62.34 ± 4.25	63.57 ± 4.85	1.23 ± 4.46	0.119
HFC2 (dB)	Dominant	64.91 ± 3.94	66.20 ± 4.14	1.29 ± 3.40	0.033
	Nondominant	65.13 ± 3.80	66.19 ± 4.24	1.06 ± 3.75	0.110
Total HFC (dB)	Dominant	63.98 ± 3.71	65.22 ± 3.56	1.24 ± 2.60	0.009
	Nondominant	64.20 ± 3.50	65.29 ± 4.12	1.09 ± 3.22	0.058
Critical flicker fusion frequency test (Hz)	Dominant	36.56 ± 4.12	37.31 ± 4.17	0.75 ± 1.22	0.001
	Nondominant	36.15 ± 4.12	37.21 ± 4.17	1.06 ± 1.62	0.001
Subjective amplitude of accommodation with push up method (diopters)	Dominant	7.81 ± 2.91	7.46 ± 2.70	-0.36 ± 1.06	0.058
	Nondominant	7.45 ± 2.88	7.07 ± 2.71	-0.38 ± 0.78	0.007
Objective amplitude of accommodation with autorefractormeter (diopters)	Dominant	2.66 ± 0.91	2.55 ± 0.94	-0.103 ± 0.43	0.171
	Nondominant	2.61 ± 0.90	2.68 ± 0.93	0.07 ± 0.33	0.202
Spherical equivalent (diopters)	Dominant	-1.74 ± 1.91	-1.88 ± 1.90	0.14 ± 0.27	0.006
	Nondominant	-1.62 ± 1.94	-1.79 ± 1.78	0.17 ± 0.42	0.029

Values are presented as mean ± standard deviation.

HFC = high frequency component; VR = virtual reality.

*Paired *t*-test.

Table 4. The difference of subjective amplitude of accommodation with push up method and objective amplitude of accommodation with autorefractormeter

Variable	Eyes	Subjective Amplitude of accommodation with Push up method	Objective Amplitude of accommodation with autorefractor	Difference	p-value*
Pre VR (diopters)	Dominant eye	-7.81 ± 2.91	-2.66 ± 0.91	-5.15 ± 2.44	0.000
	Nondominant eye	-7.45 ± 2.88	-2.61 ± 0.90	-4.84 ± 2.33	0.000
Post VR (diopters)	Dominant eye	-7.46 ± 2.70	-2.56 ± 0.94	-4.90 ± 2.34	0.000
	Nondominant eye	-7.07 ± 2.71	-2.68 ± 0.93	-4.38 ± 2.17	0.000

Values are presented as mean ± standard deviation.

VR = virtual reality.

*Paired *t*-test.

Table 5. Questionnaire about presbyopia, experience of virtual reality device, 3D stereoscopic video, sickness

Question	Answer	
	Yes	No
Do you see things that are nearby or things that you need to see far away?	6 (18)	28 (82)
Do you use a magnifying glass? Or if you usually wear nearsighted glasses, do you take off your glasses and watch the book?	2 (6)	32 (94)
Have you experienced virtual reality device in the last 3 years?	13 (38)	21 (62)
Have you experienced 3D stereoscopic video (movie, video, experience center, etc.) in the last 3 years?	17 (50)	17 (50)
Have you experienced sickness?	9 (26)	25 (74)

Values are presented as number (%).

고 찰

가상현실이란 컴퓨터가 만들어낸 가상의 환경을 사람의 모든 감각을 통해 실제 상황으로 인지하는 것으로 시각, 청각, 촉각, 후각, 미각, 운동감각 등을 사용하여 정보를 얻는데, 그중 시각이 정보 중에 가장 큰 비율을 담당하고 기술적으로도 후각, 미각, 운동감각에 비해 구현이 용이하다는 장점이 있어 시각을 통한 가상현실기기에 대한 연구가 가장 활발하다.^{25,26} 가상현실기기는 컴퓨터 화면에 가상현실을 구현하는 데스크탑형, 대형 스크린에 입체 영상을 투사하는 스크린형, 안경 모양의 디스플레이장치를 착용하여

시각적으로 외부와 차단되는 HMD형이 있으며, 가상현실의 몰입도가 HMD형이 가장 깊다는 장점이 있어 최근 많은 분야에서 사용되고 있다.²⁶ HMD는 헬멧 형태의 틀에 두 개의 디스플레이를 장착하고 이를 높은 도수의 렌즈로 확대하여 착용자에게 보여주게 되는데, 이때 두 개의 상은 서로 다른 상으로 입체적으로 보이도록 표시된다.^{27,28} HMD는 넓은 시야를 입체적으로 3차원화하여 표현 가능하며, 착용자의 위치와 공간 정보를 함께 상호작용하도록 할 수 있고 안정처럼 바깥의 배경을 보여주어 상호작용하는 정보를 디스플레이하여 사용할 수 있는 장점이 있다.²⁹

그러나 HMD 가상현실기기 사용자는 눈피로가 발생할

Table 6. Correlation between experience of presbyopia symptom and the change of result value before and after watching virtual reality device

Characteristic	Eyes	Answer		p-value*
		Yes (n = 6, 18%)	No (n = 28, 82%)	
HFC1 (dB)	Dominant	1.31 ± 1.49	1.77 ± 1.22	0.442
	Nondominant	16.6 ± 16.72	4.92 ± 18.12	0.109
HFC2 (dB)	Dominant	1.77 ± 2.18	2.05 ± 1.60	0.470
	Nondominant	1.88 ± 5.55	-1.78 ± 5.25	0.142
Total HFC (dB)	Dominant	1.21 ± 8.34	0.01 ± 8.09	0.857
	Nondominant	-1.80 ± 5.96	-2.29 ± 5.77	0.892
Critical flicker fusion frequency test (Hz)	Dominant	0.65 ± 1.31	0.77 ± 1.22	0.735
	Nondominant	1.10 ± 1.88	1.05 ± 1.60	0.821
Subjective amplitude of accommodation with Push up method (diopters)	Dominant	2.24 ± 7.22	0.22 ± 7.78	0.527
	Nondominant	17.17 ± 17.71	6.99 ± 15.50	0.130
Objective amplitude of accommodation with autorefractormeter (diopters)	Dominant	0.20 ± 0.39	0.08 ± 0.44	0.484
	Nondominant	-0.03 ± 0.41	-0.08 ± 0.32	0.874

Values are presented as mean ± standard deviation.

HFC = high frequency component.

*Mann-Whitney U test.

Table 7. Correlation between experience of virtual reality device in the last 3 years and the change of result value before and after watching virtual reality device

Characteristic	Eyes	Answer		p-value*
		Yes (n = 13, 38%)	No (n = 21, 62%)	
HFC1 (dB)	Dominant	1.65 ± 1.45	1.72 ± 1.17	0.958
	Nondominant	4.72 ± 18.98	8.38 ± 18.04	0.385
HFC2 (dB)	Dominant	1.87 ± 1.64	2.09 ± 1.74	0.512
	Nondominant	-1.01 ± 4.49	-1.21 ± 6.01	0.915
Total HFC (dB)	Dominant	0.61 ± 5.75	-0.02 ± 9.28	0.986
	Nondominant	-0.50 ± 6.11	-3.25 ± 5.33	0.208
Critical flicker fusion frequency test (Hz)	Dominant	0.73 ± 1.32	0.76 ± 1.19	0.901
	Nondominant	0.94 ± 1.61	1.13 ± 1.66	0.632
Subjective amplitude of accommodation with Push up method (diopters)	Dominant	2.04 ± 6.00	-0.33 ± 8.48	0.304
	Nondominant	7.79 ± 16.86	9.41 ± 16.03	0.697
Objective amplitude of accommodation with autorefractormeter (diopters)	Dominant	0.24 ± 0.43	0.15 ± 0.43	0.435
	Nondominant	-0.07 ± 0.36	-0.07 ± 0.32	0.736

Values are presented as mean ± standard deviation.

HFC = high frequency component.

*Mann-Whitney U test.

수 있다. 눈피로의 유발 기전으로는 시차의 차이, 수렴 조절의 불일치, 초점거리에 따른 상의 흐려짐의 이상, 부정확한 깊이 정보 등이 원인으로 알려져 있다.²⁵ 3차원 디스플레이는 입체감을 위해 양안에 서로 시차의 차이가 있는 이미지를 보여준다. 이때 좌우의 이미지에 과도한 시차의 차이가 있거나 기하학적인 왜곡이 있을 경우에 눈피로가 발생할 수 있다.³⁰ 3차원 이미지에서 좌우 이미지의 시차가 1° 이내일 때는 수렴과 조절 불일치가 주된 눈피로의 원인이 될 수 있다.⁵ 2차원 이미지를 주시할 때는 수렴거리(vergence distance)와 초점거리(focal distance)가 일치하지만 HMD를 통해 3차원 이미지를 주시할 때는 수렴거리와 초점거리 차이가 발생하게 된다.^{25,31} 예를 들어 3차원 이미지에서 화면보다 앞으로 튀어나와 보이는 부분을 주시하면 양안은 서로 수렴하려고 하며, 이와 반대로 조절 기능은 상이 명료하게 보이도록 수렴거리보다 더 먼 화면에 초점이 맞도록 조절하는데, 이러한 불일치가 시청자에게 혼란과 눈피로를 유발하게 된다. 현실에서 사물을 볼 때는 초점거리에 해당하는 지점의 앞과 뒤의 좁은 범위를 제외하고는 상이 흐리게 보여 초점 깊이에 대한 정보를 얻을 수 있다. 하지만 가상현실의 이미지는 초점거리 범위 밖에서도 상의 흐림이 없어 강한 조절 자극을 주고 융합력이 낮아지게 하여 눈피로를 유발할 수 있다.⁵ 또한 2차원으로 제작된 이미지를 3차원으로 변환할 경우, 변환된 이미지는 부정확한 깊이 정보를 포함하여 왜곡이 발생하고 이로 인해 눈피로를 유발할 수 있다.⁵ 일반적으로, 2차원 디스플레이보다 HMD는 훨씬 넓은 시야를 제공하며 뇌에 더 많은 정보가 입력되어 눈피로가 유발될 수 있어, 2차원 디스플레이와 다른 양상의 눈피로가 나타난다.^{25,32,33} 또한, 디스플레이 장치 시청자에서 공통적으로 나타날 수 있는 눈 깜박임 감소와 안구건조 증 증상도 눈피로 증가의 원인이 될 수 있다.^{34,35}

본 연구에서는 가상현실기기시청 전과 후 환자의 주관적인 피로도 평가 방법으로 VQRS 설문지를 일부 변형시켜 사용하여 분석하였다. 분석 결과 HMD 가상현실기기 시청 후 설문의 총 점수가 증가되었고 주관적인 피로가 증가됨을 확인할 수 있었다. 설문 문항을 전신 증상과 눈 증상으로 나누어 보면 전신 증상에서는 피로가 증가되는 경향은 관찰되었지만 통계적으로 유의하지는 않았던 반면, 눈 증상은 통계적으로 유의한 증가가 관찰되었다. 이는 10분간의 HMD 가상현실기기 시청 후에는 눈피로가 전신적인 피로보다 더 뚜렷하게 나타날 수 있음을 의미한다. Kwon et al¹은 VQRS 설문지를 일부 변형한 설문에서 셔터글라스(shutter glass) 형태의 3차원 안경으로 영상을 시청하는 경우 2차원 영상보다 눈피로와 두통, 집중력의 저하가 더 심하게 발생한다고 보고하였다. Guo et al²⁵은 두통, 오심 및

전신 불편감이 HMD 가상현실기기 사용 후에 더 심하다고 보고하였는데, 그 이유는 외부와 차단된 가상현실에서 현실로 나오게 되었을 때의 적응이 필요하기 때문이라고 하였다.

눈피로의 변화를 보다 객관적으로 확인하기 위하여 본 연구에서는 조절 미세파동의 고진동수 및 임계플리커융합빈도라는 새로운 객관적 평가 방식을 시도하였다. 조절 미세파동의 고진동수검사에서는 HFC1과 HFC2, Total HFC에서 모두 VR 시청 후 값이 증가하는 경향성이 관찰되었다. 특히 우세안에서는 통계적으로 유의한 증가가 관찰되어 눈피로의 증가를 반영한다고 볼 수 있었다. Kajita et al¹⁰은 HFC1과 HFC2 중에서는 HFC1의 증가가 눈피로를 더 잘 반영한다고 하였고, Kaido et al³⁶도 안구건조증에서 HFC1과 HFC2 중 HFC1의 증가가 안구건조증의 증상을 더 잘 반영한다고 하였다. 본 연구에서는 HFC1뿐 아니라 HFC2의 증가도 관찰되었는데 이는 Kajita et al¹⁰과 Kaido et al³⁶의 연구와는 차이가 있었다. 이러한 차이는 본 연구와 이전 연구들의 대상자 및 연구 방법의 차이에 기인한다고 추정된다. 참고로 Kajita et al¹⁰의 연구는 특별한 자극 없이 눈피로를 호소하는 대상자들과 정상인들에서 눈피로를 정량화 및 비교하는 연구였으며, Kaido et al³⁶의 연구는 안구건조증환자와 정상인들에서 눈피로를 정량화 및 비교하는 연구였다. 한편, Jeng et al³⁷은 2차원 디스플레이보다는 안경착용 형태의 3차원 디스플레이에서, 15분 간의 영상 시청 후에 조절미세파동의 고진동수 영역을 유의하게 증가시키며, 또한, 3차원 디스플레이 중에서는 셔터글라스 형태의 안경이 편광 형태의 안경보다 유의하게 조절미세파동의 고진동수 영역을 증가시킴을 보고하였다.

임계플리커융합빈도는 HMD 가상현실기기 시청 후에 우세안과 비우세안 모두에서 통계적으로 유의하게 증가하는 것이 관찰되었다. 일반적으로 임계플리커융합빈도는 눈피로가 증가하면 수치가 감소한다고 알려져 있는데, 본 연구 결과에서는 시청 후에 오히려 임계플리커융합빈도가 증가하였다. 본 연구와 달리 Kim et al³³의 연구에서는 HMD 가상현실기기와 2차원 영상을 5분간 시청 후에 임계플리커융합빈도가 2차원 영상보다 HMD 가상현실기기에서 더 감소하는 것을 관찰하였다고 하였다. 본 연구에서 영상 시청 후 눈피로가 증가하여 임계플리커융합빈도가 감소할 것이라는 예측과 다르게 결과가 나온 이유를 고려해 보면 Mitsuhashi¹⁷는 임계플리커융합빈도는 개인 간에 편차가 크며 일중과 주중 변동이 있기 때문에 수치를 정규화(normalization)하여 측정하여야 한다고 하였는데, 본 연구에서는 이러한 변동성이 미리 고려되지 않은 제한점이 있다. 또한 영상 시청 시간이 충분하지 않아 눈피로가 많이 증가하지 않았거나,

각 검사 시행 간에 피험자의 학습 효과(learning effect)가 작용하였을 가능성도 있다.

Push-up method를 이용한 주관적 조절력검사 결과에서 우세안에서는 HMD 가상현실기기 시청 후 조절력이 감소하는 경향이 관찰되었으나, 통계적으로 유의하지는 않았고 비우세안에서는 통계적으로 유의한 감소가 확인되었다. 그러나 자동굴절검사기의 동적조절력검사기능을 이용한 객관적 조절력검사에서는 우세안과 비우세안 모두 통계적으로 유의한 조절력 변화가 관찰되지 않았다. Tanahashi et al³⁸는 cathode-ray tube (CRT) 화면을 시청 전후 조절력을 검사했을 때 우세안에서 조절력이 통계적으로 유의미하게 감소하였으나 비우세안에서는 조절력이 감소하는 경향은 있어도 통계적으로는 유의하지 않았다고 보고하였으며, 그 이유로 우세안이 상대적으로 시각적인 부하가 많기 때문이라고 하였다. 그러나 Tanahashi et al³⁸의 연구는 상대적으로 적은 대상(우세안 4안, 비우세안 4안)에 대해 연구라는 한계가 있다. 또 Namba et al³⁹은 2시간동안 liquid-crystal display 화면을 시청하며 비디오 게임 후 우세안과 비우세안 모두 조절력이 감소하였다고 하였으나 본 연구와 달리 장시간 시청을 한 경우로 본 연구의 상대적으로 짧은 10분간의 영상 시청 후의 결과와 차이가 있을 수 있다.

본 연구에서는 Push-up method가 자동굴절검사기의 동적조절력검사기능을 이용한 조절력검사에 비해 시청 전과 후 모두 조절력이 높게 관찰되었다. Shim and Ko⁴⁰는 한국인 중 32세에서 35세 사이 연령대에서 Push-up method를 이용한 조절력이 평균 8.8디옵터라 보고하여 본 연구와 유사하였다. Kang et al²²은 자동굴절검사기의 동적조절력검사기능을 이용한 객관적 조절력검사에서의 연령 30대 9안의 조절력이 평균 3.78디옵터라 보고하여 마찬가지로 본 연구의 결과와 큰 차이는 보이지 않았다. Win-Hall et al⁴¹의 연구에서는 Push-up method가 자동굴절검사기를 통한 객관적 검사보다 조절력을 과대평가한다고 하였고 객관적 검사 방법이 더 정확하다고 하였다. Wold et al⁴²도 Push-up method에서 조절력이 객관적 검사보다 조절력의 과대 평가가 있다고 하였는데 주시 대상의 크기, 동공 크기, 조명, 근거리 단서, end-point 기준, 피험자의 다양성 등이 영향을 주기 때문이라고 하였고 정확한 조절력 평가를 위해서는 객관적 검사 방법을 사용해야 한다고 하였다. 본 연구에서도 Push-up method가 자동굴절검사기의 동적조절력검사기능을 이용한 조절력 검사에 비해 조절력을 과대평가한 것으로 보이며 추후 이러한 디스플레이 장치의 눈피로에 대한 연구에서도 객관적인 조절력 평가 방법을 사용하는 것이 더 유용할 것으로 보인다.

본 연구에서 VR 기기 시청 후에는 구면렌즈대응치의 값

이 우세안과 비우세안 모두에서 근시로 진행되는 것이 관찰되었다. 이는 3차원 영상물 시청 후 일시적으로 근시가 유발되었다는 보고와 일치하는 결과였다.¹ 근거리 작업 후에는 일시적으로 근시가 유발될 수 있고 이를 ‘nearwork-induced transient myopia’이라고 하는데, 근거리 작업이 근시를 유발하는데 중요한 환경적 요소로 알려져 있다.¹ Luberto et al⁴³은 디스플레이 시청 후 일시적인 근시가 발생한 경우 눈피로를 더 호소한다고 보고하였고 자동굴절검사기를 이용한 일시적 근시화의 확인이 눈피로 측정의 객관적 도구로 활용할 수 있다고 하였다. Iwasaki et al⁴⁴도 3차원 디스플레이 시청 후 일시적 근시가 발생한 경우에 눈피로를 더 호소함을 보고하였다. 근거리 작업이 소아에서 근시 진행을 유발한다는 것은 잘 알려져 있고^{45,46} 성인에서도 근거리 작업이 근시를 유발할 수 있다는 보고도 있다.^{47,48} 따라서 장시간의 VR 기기 사용자에서 근시 진행을 일으킬 위험이 있는지에 대한 평가도 필요할 것이다.

우세안과 비우세안에서 임계플리커융합빈도, 조절미세파동의 고진동수 영역검사(HFC1, HFC2, Total HFC), 조절력검사 및 구면렌즈대응치의 가상현실기기 시청 전후 변화량을 서로 비교하였으나 서로 변화량의 차이가 관찰되지 않았다. 본 연구를 통해서는 차이가 나타나지 않은 기전을 확인할 수는 없었으나, HMD 가상현실기기에서는 양안에 거의 비슷한 형태와 밝기의 이미지가 표시되어 시각적 자극의 크기에 차이가 나지 않기 때문이라 추정할 수 있었다.

본 연구의 여러 가지 한계점을 가진다. 첫째, 피험자의 수가 34명으로 많지 않은 편이며, 주로 정도의 근시안인 피험자들이 포함되어 결과를 일반화하기는 어려울 수 있다. 둘째, 본 연구에서는 피험자에게 정해진 게임 영상을 시청하도록 하였으나, 실제로 HMD 시청자와 영상이 상호작용하는 다양한 게임 등으로 가상현실기기를 이용할 때는 피로에 다른 영향을 미칠 수 있을 것이다. 셋째, 본 연구에서의 HMD 가상현실기기의 시청 시간이 10분으로 짧은 편인 점은 연구 결과를 장시간의 가상현실기기 시청과 눈피로의 변화로까지 확대하기 어려울 수 있다. 넷째, 연구 대상자 선정 과정에서 건성안에 대한 평가가 이루어지지 않아 건성안으로 인한 눈피로 정도에 대한 평가가 이루어지지 못한 점이 있다. 다섯 번째로 시청 전과 후에 다양한 검사를 시행하였는데 가상현실기기 시청 후의 설문지 작성은 약 1분 내외의 짧은 시간에 완료되었지만 근거리 활동이므로 일부는 피로도나 조절력 평가에 영향을 주었을 수 있을 것으로 보인다. 또 검사의 개수가 많은 점이 조절미세파동의 고진동수 영역검사, 임계플리커융합빈도, 동적조절력검사, Push-up method를 이용한 조절력검사로 많아 앞에 시행한 검사로 인해 뒤의 검사에서 눈피로나 조절력에 영향을 줄 수 있어

교란변수로 작용하였을 수 있을 것으로 보인다.

결론적으로 HMD 형태의 가상현실기기 시청은 주관적인 눈피로 평가에서 설문조사 결과 눈피로를 증가시켰고, 객관적인 평가에서 조절미세파동검사의 고진동수 영역검사에서 눈피로가 증가하는 경향, Push-up method를 통한 조절력 검사에서는 조절력의 감소하는 경향과 일시적 근시화가 관찰된 점을 볼 때 눈피로의 증가를 유발한다고 추정할 수 있었지만, 임계플리커융합빈도와 동적조절력검사에서 눈피로의 증가가 관찰되지 않은 점이 제한점으로 남는다. 최근 HMD 형태의 가상현실기기의 사용이 증가하는 추세임을 감안하면, 향후 가상현실기기 사용에 의한 눈피로를 감소시키기 위한 연구와, 일시적인 근시의 유발에 대해서 추후 안전성에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

REFERENCES

- 1) Kwon J, Kang SY, Kim KH, et al. The ocular fatigue of watching three-dimensional (3d) images. *J Korean Ophthalmol Soc* 2012; 53:941-6.
- 2) Song EJ, Jung A. A study for reducing of cyber sickness on virtual reality. *J DCS* 2017;18:429-34.
- 3) Sharples S, Cobb S, Moody A, Wilson JR. Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems. *Displays* 2008;29:58-69.
- 4) Wehr F, Held J. Stereoscopic versus monoscopic displays: learning fine manual dexterity skills using a microsurgical task simulator. *Appl Ergon* 2019;77:40-9.
- 5) Lambooy M, Fortuin M, Heynderickx I, IJsselstein W. Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: a review. *J Imaging Sci Technol* 2009;53:30201-1-030201-14.
- 6) Cho KJ, Kim SY, Yang SW. The refractive errors of dominant and non-dominant eyes. *J Korean Ophthalmol Soc* 2009;50:275-9.
- 7) Shneur E, Hochstein S. Eye dominance effects in feature search. *Vision Res* 2006;46:4258-69.
- 8) Rice ML, Leske DA, Smestad CE, Holmes JM. Results of ocular dominance testing depend on assessment method. *J AAPOS* 2008; 12:365-9.
- 9) 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.
- 10) Kajita M, Ono M, Suzuki S, Kato K. Accommodative microfluctuation in asthenopia caused by accommodative spasm. *Fukushima J Med Sci* 2001;47:13-20.
- 11) Charman W, Heron G. Fluctuations in accommodation: a review. *Ophthalmic Physiol Opt* 1988;8:153-64.
- 12) Nakatsuka C, Hasebe S, Nonaka F, Ohtsuki H. Accommodative lag under habitual seeing conditions: comparison between adult myopes and emmetropes. *Jpn J Ophthalmol* 2003;47:291-8.
- 13) Park SM, Lee HM. Objective evaluation of asthenopia using accommodative microfluctuation in the high-frequency region. *J Korean Ophthalmol Soc* 2018;23:477-84.
- 14) Ju LH, Lee DH, Lee DH, Kim JH. The relationship between the high-frequency component of accommodative microfluctuation, accommodative lag and accommodative amplitude in presbyopic eyes. *J Korean Ophthalmol Soc* 2014;55:1606-12.
- 15) Lee WY. A study on driving characteristics of the elderly driver using a driving simulator. *J Korean Soc Saf* 2006;21:103-11.
- 16) Chen Y, Buhr KA, Hoeve JV. Study of critical flicker fusion (CFF) function and P100 latency of visual evoked potential (VEP) in normal subjects and patients who recovered from acute optic neuritis. *Int J Ophthalmol Clin Res* 2017;4:067.
- 17) Mitsuhashi T. Measurement and analysis methods for critical flicker frequency and observer fatigue caused by television watching. *Electronics & Communications in Japan (Part III: Fundamental Electronic Science)* 1995;78:1-12.
- 18) Nivetha C, Jagadamba A, Usha GS. Critical fusion frequency a simple non-invasive tool to measure fatigue in granite factory workers. *IOSR-JDMS* 2016;15:83-6.
- 19) Lee HJ, Kim SJ. Factors associated with visual fatigue from curved monitor use: a prospective study of healthy subjects. *PLoS One* 2016;11:e0164022.
- 20) Gur S, Ron S, Heicklen-Klein A. Objective evaluation of visual fatigue in VDU workers. *Occup Med (Lond)* 1994;44:201-4.
- 21) Thiagarajan P, Ciuffreda KJ. Visual fatigue and accommodative dynamics in asymptomatic individuals. *Optom Vis Sci* 2013;90:57-65.
- 22) Kang DW, Eom YS, Rhim JW, et al. Evaluation of objective accommodation power in different age groups using an auto accommodation refractometer. *J Korean Ophthalmol Soc* 2016;57:20-4.
- 23) Kundart J, Tai YC, Hayes JR, et al. Real-time objective measurement of accommodation while reading. *J Behav Optom* 2011;22: 130-4.
- 24) Sharma IP. RAF near point rule for near point of convergence-a short review. *Ann Eye Sci* 2017;2.
- 25) Guo J, Weng D, Zhang Z, et al. Subjective and objective evaluation of visual fatigue caused by continuous and discontinuous use of HMDs. *J Soc Inf Disp* 2019;27:108-19.
- 26) Cha KR, Kim CH. Virtual reality in current and future psychiatry. *Korean J Biol Psychiatry* 2007;14:28-41.
- 27) Kim N, Phan AH, Erdenebat MU, et al. 3D display technology. *Disp Imag* 2014;1:73-95.
- 28) Turnbull PR, Phillips JR. Ocular effects of virtual reality headset wear in young adults. *Scientific Reports* 2017;7:16172.
- 29) Shibata T. Head mounted display. *Displays* 2002;23:57-64.
- 30) Yano S, Emoto M, Mitsuhashi T. Two factors in visual fatigue caused by stereoscopic HDTV images. *Displays* 2004;25:141-50.
- 31) Hoffman DM, Girshick AR, Akeley K, Banks MS. Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *J Vis* 2008;8:33.
- 32) Han SJ. Quantitative analysis of display fatigue induced by 2D, 3D videos. *J Digit Conver* 2016;14:329-35.
- 33) Kim SU, Han SJ, Koo KC. Analysis of display fatigue induced by HMD-based virtual reality bicycle. *J Korea Acad-Industr Coop Soc* 2017;18:692-9.
- 34) Kim J, Sunil Kumar Y, Yoo J, Kwon S. Change of blink rate in viewing virtual reality with HMD. *Symmetry* 2018;10:400.
- 35) Han J, Bae SH, Suk HJ. Comparison of visual discomfort and visual fatigue between head-mounted display and smartphone. *Electron Imaging* 2017;2017:212-7.
- 36) Kaido M, Kawashima M, Ishida R, Tsubota K. Severe symptoms of short tear break-up time dry eye are associated with accom-

- modative microfluctuations. Clin Ophthalmol 2017;11:861-9.
- 37) Jeng WD, Ouyang Y, Huang TW, et al. Research of accommodative microfluctuations caused by visual fatigue based on liquid crystal and laser displays. Appl Opt 2014;53:H76-84.
 - 38) Tanahashi M, Miyao M, Sakakibara H, et al. The effect of VDT work on the fluctuations of accommodation. Ind Health 1986;24:173-89.
 - 39) Namba T, Tanzawa K, Nakano K, et al. Evaluation of asthenopia caused by game consoles. Kawasaki Journal of Medical Welfare 2018;24:9-16.
 - 40) Shim YB, Ko CJ. The study on the near point in Koreans. J Korean Ophthalmol Soc 1982;23:627-32.
 - 41) Win-Hall DM, Ostrin LA, Kasthurirangan S, Glasser A. Objective accommodation measurement with the Grand Seiko and Hartinger coincidence refractometer. Optom Vis Sci 2007;84:879-87.
 - 42) Wold JE, Hu A, Chen S, Glasser A. Subjective and objective measurement of human accommodative amplitude. J Cataract Refract Surg 2003;29:1878-88.
 - 43) Luberto F, Gobba F, Broglia A. Temporary myopia and subjective symptoms in video display terminal operators. Med Lav 1989;80:155-63.
 - 44) 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.
 - 45) Hepsen IF, Evereklioglu C, Bayramlar H. The effect of reading and near-work on the development of myopia in emmetropic boys: a prospective, controlled, three-year follow-up study. Vision Res 2001;41:2511-20.
 - 46) Huang HM, Chang DS, Wu PC. The association between near work activities and myopia in children-a systematic review and meta-analysis. PLoS One 2015;10:e0140419.
 - 47) Loman J, Quinn GE, Kamoun L, et al. Darkness and near work: myopia and its progression in third-year law students. Ophthalmology 2002;109:1032-8.
 - 48) Kinge B, Midelfart A, Jacobsen G, Rystad J. The influence of near-work on development of myopia among university students. A three-year longitudinal study among engineering students in Norway. Acta Ophthalmol Scand 2000;78:26-9.

= 국문초록 =

가상현실기기 사용이 눈피로에 미치는 영향 평가 연구

목적: Head mounted display (HMD) 형태의 가상현실기기 사용으로 인한 눈피로의 변화를 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 건강한 젊은 성인 지원자를 대상으로 HMD 형태의 가상현실기기를 10분간 사용하도록 하고, 눈피로에 대해 전향적으로 분석하였다. 눈피로의 주관적 평가는 설문지를 사용하였다. 객관적 평가로는 임계플리커융합빈도, 조절미세파동검사(accommodative microfluctuation)의 고진동수 영역(high frequency component)과 조절력의 변화는 Push-up method와 자동굴절검사의 동적조절력검사를 통해 시행하였다. 그리고 구면렌즈대응치의 변화를 측정했다.

결과: 시정 후 주관적인 설문 평가에서 눈피로가 증가하였고($p=0.020$), 객관적인 평가에서는 조절미세파동검사의 고진동수 영역검사에서 우세안의 눈피로 증가와($p<0.05$), Push-up method를 통한 조절력검사에서도 비우세안의 조절력 감소($p=0.007$)와 일시적 근시화($p<0.05$)가 관찰되었다. 임계플리커융합빈도에서는 눈피로의 증가가 관찰되지 않았고, 동적조절력검사에서도 조절력의 유의한 변화($p>0.05$)가 없었다.

결론: 주관적인 검사와 일부 객관적 평가에서 눈피로의 증가가 확인되어 HMD 사용이 눈피로를 증가시킨다고 추정할 수 있었지만, 임계플리커융합빈도와 동적조절력검사에서도 눈피로의 증가가 관찰되지 않은 점이 한계로 남는다. 추후 HMD 기기 사용으로 인한 눈피로의 감소 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

〈대한안과학회지 2020;61(2):125-137〉

이상혁 / Sang Hyeok Lee

동국대학교 일산병원 안과
Department of Ophthalmology,
Dongguk University Ilsan Hospital



Appendix 1. Modified virtual reality symptom questionnaire.

눈 피로도 설문(VRSQ) 시청 전 ☐ 시청 후 ☐

스크리닝번호/대상자 번호	S / C	대상자 이니셜	
설문일	20 년 월 일		

다음 질문은 현재 귀하의 눈 피로도를 알아보기 위한 설문입니다. 현재 상태를 기준으로 적절한 곳에 V 표시를 해 주십시오.

	전혀 없음	경미	약간	보통	조금 심함	심함	매우 심함
	1	2	3	4	5	6	7
피곤하다							
지겹다							
줄리다							
머리가 아프다							
어지럽다							
집중이 안된다							
구역감이 있다							
눈이 피로하다							
눈이 시리다/아프다							
흐리게 보인다							
초점이 안맞는다							

연구자 서명		서명일	
--------	--	-----	--

Appendix 2. Questionnaires on experience of presbyopia, virtual reality device and sickness.

스크리닝번호	S	대상자 이니셜	
설문일	20 년 월 일		

다음 내용은 본 임상시험에 들어가기 전에 가상 현실 기기 사용이나 눈 피로도에 관련된 설문입니다. 다음과 같은 증상이 있었으면 ‘예’라고 답해 주시고, 그렇지 않으면 ‘아니오’로 답해주시오.

1. 최근 한달 사이 가까운 것이 잘 안보이거나 침침하거나 멀리 떨어뜨려야 더 잘 보이는 증상이 있었습니까?
예 ☐ 아니오 ☐
2. 돋보기를 사용하시거나, 평소 근시 안경을 쓰는 경우에는 안경을 벗고 책을 보십니까?
예 ☐ 아니오 ☐
3. 최근 3년 사이 가상 현실 기기를 사용한 적이 있습니까?
예 ☐ 아니오 ☐
4. 최근 3년 사이 3D 입체 영상 (영화, 비디오, 체험관 등)을 경험한 적이 있습니까?
예 ☐ 아니오 ☐
5. 지금까지 멀미를 경험해 보신 적이 있습니까? 예 ☐ 아니오 ☐
 - 1) 뱃멀미 예 ☐ 아니오 ☐
 - 2) 차멀미 예 ☐ 아니오 ☐
 - 3) 비행기 멀미 예 ☐ 아니오 ☐
 - 4) 가상 현실 기기 사용 시 예 ☐ 아니오 ☐
 - 5) 3D 입체 영상 경험 시 예 ☐ 아니오 ☐

연구자 서명		서명일	
--------	--	-----	--