

# 使用增强现实眼镜对健康成年人视觉功能的影响

刘璐<sup>1</sup> 胡晓珺<sup>1</sup> 王雪彤<sup>1</sup> 端木海婴<sup>2</sup> 倪冰冰<sup>3</sup> 柯碧莲<sup>1Δ</sup>

(<sup>1</sup>上海交通大学医学院附属第一人民医院眼科 上海 200080; <sup>2</sup>上海市多媒体行业协会 上海 200050;

<sup>3</sup>上海交通大学电子工程系 上海 200240)

**【摘要】** 目的 研究使用增强现实眼镜观看视频对人眼客观视功能指标及主观视疲劳症状的影响。方法 招募25名健康成年人,平均年龄(25.04±2.53)岁。在暗环境下配戴增强现实眼镜连续观看二维(2D)视频1h,在观看前后分别完成主观视疲劳问卷,进行泪河高度、非侵入性泪膜破裂时间、泪膜脂质层厚度、瞬目情况、主客观验光、调节近点、调节灵活度、远距离水平隐斜视、立体视、对比敏感度等视功能检查。结果 使用增强现实眼镜连续观看2D视频1h后,主观视疲劳问卷得分增加( $P<0.001$ ),泪膜脂质层厚度增加( $P=0.001$ ),不完全瞬目比例减少( $P<0.001$ ),屈光度数减小( $P<0.001$ ),调节近点远移( $P<0.001$ )。结论 使用增强现实眼镜连续观看2D视频1h会诱发主观视疲劳症状,屈光度向近视方向发生轻微的偏移,可能与调节能力下降有关,但对眼表泪膜稳定性并无不良影响。

**【关键词】** 增强现实; 立体显示; 视功能; 视疲劳

**【中图分类号】** R778.2, TN27 **【文献标志码】** A **doi:**10.3969/j.issn.1672-8467.2023.03.006

## Effect of augmented reality glasses on visual function in healthy adult individuals

LIU Lu<sup>1</sup>, HU Xiao-jun<sup>1</sup>, WANG Xue-tong<sup>1</sup>, DUANMU Hai-ying<sup>2</sup>, NI Bing-bing<sup>3</sup>, KE Bi-lian<sup>1Δ</sup>

(<sup>1</sup>Department of Ophthalmology, Shanghai General Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200080, China; <sup>2</sup>Shanghai Multi-Media Industry Association, Shanghai 200050, China; <sup>3</sup>Department of Electronic Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

**【Abstract】 Objective** To investigate the effects of video viewing using augmented reality glasses on objective visual functions and subjective visual fatigue symptoms. **Methods** Twenty-five healthy adults with an average age of (25.04±2.53) years were recruited to watch a two-dimensional (2D) video with augmented reality glasses for one hour in the dark environment. Before and after the video viewing, subjective visual fatigue questionnaire and visual functions, including tear meniscus height, noninvasive break-up time, lipid layer thickness, blinking conditions, refractive error, near point of accommodation, accommodative facility, far horizontal phoria, stereoacuity and contrast sensitivity were evaluated. **Results** After using augmented reality glasses continuously viewing 2D video for one hour, subjective visual fatigue questionnaire score increased ( $P<0.001$ ), lipid layer thickness increased ( $P=0.001$ ), partial blink rate decreased ( $P<0.001$ ), refractive error decreased ( $P<0.001$ ) and the near point of accommodation increased ( $P<0.001$ ). **Conclusion** Using augmented reality glasses to watch 2D video continuously for one hour can induce subjective visual fatigue symptoms and a slight myopia shift in

国家重点研发计划(2020YFC2003904);上海交通大学“交大之星”计划医工交叉研究基金(YG2021ZD18);国家自然科学基金(82070992, 81770953);上海市第一人民医院临床研究创新团队项目(CTCCR-2018B01)

<sup>Δ</sup>Corresponding author E-mail: kebilian@126.com

网络首发时间:2022-09-06 09:45:01 网络首发地址:<https://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1885.R.20220905.1418.004.html>

refraction, which may be related to the decrease of accommodation ability.

**【Key words】** augmented reality; stereoscopic display; visual function; visual fatigue

\* This work was supported by the National Key R&D Program of China (2020YFC2003904), "Star of Jiao Tong University" Medical and Engineering Cross Research Fund of Shanghai Jiao Tong University (YG2021ZD18), the National Natural Science Foundation of China (82070992, 81770953) and the Project of Clinical Research Innovation Team in Shanghai General Hospital (CTCCR-2018B01).

增强现实(augmented reality, AR)是虚拟现实(virtual reality, VR)的一个分支,通过将计算机生成的虚拟物体实时叠加到真实环境中,使用户同时看到周围的真实环境与虚拟物体<sup>[1]</sup>。与传统的完全沉浸式VR技术相比,AR技术实现了对真实场景的补充而非完全替代,不仅降低了三维建模的工作量,同时增强了可信度及体验感<sup>[2]</sup>。近年来,VR与AR显示技术的应用范围越来越广泛,除了传统的军事、工业仿真等领域外,还可应用于建筑、考古、医疗、教育、农业和娱乐等多种领域<sup>[3]</sup>。

由于VR头盔显示器完全浸入式的特性,易造成视觉信息与身体运动信息的冲突,长时间使用后会产生恶心、眩晕、定向障碍等症状<sup>[4]</sup>。作为一种半沉浸式显示器,透视式AR眼镜不仅配戴轻便,而且可以让用户同时看到外部真实环境与虚拟影像,减少了使用后的晕动症状<sup>[5]</sup>。在未来,AR眼镜有可能成为日常生活中重要的显示方式。

已有大量研究发现,长时间观看计算机、手机、平板电脑等电子显示设备会对人眼的屈光、调节及眼表功能造成影响,从而导致一系列眼部症状,称之为计算机视觉综合征(computer vision syndrome, CVS)<sup>[6]</sup>。AR眼镜作为一种新型立体显示设备,成像原理与计算机等传统平面显示设备不同,其对视觉功能的影响尚未明确。AR眼镜所采用的光学显示方案主要包括棱镜、自由曲面反射、Birdbath、衍射光波导和几何光波导等<sup>[7]</sup>。其中,光波导方案具有体积小、视场角大、透光率及清晰度高等优势,是目前的主流光学显示方案。

对于偏振、快门等传统立体电视的研究发现,观看20<sup>[8]</sup>、30<sup>[9-11]</sup>、90 min<sup>[12]</sup>均会影响调节集合能力及眼表功能,引起视疲劳症状。Suh等<sup>[13]</sup>则发现观看快门式立体电视3 h诱导了0.36 D的近视性偏移。立体电视、电影及投影等传统立体显示设备大多基于偏振片或快门切换,需要配戴相应的3D眼镜,在亮度和帧速上有所损失,用户只能看到固定的视差图像,而不能获得随着头部或眼睛运动的真

实立体感<sup>[2]</sup>。AR眼镜则不同,其沉浸式特性能提供更加接近现实环境的临场感。

Guo等<sup>[14]</sup>研究发现,短时间观看VR训练视频15 min可以提高调节能力。另有研究表明,使用VR设备10 min诱导了主观视疲劳症状加重,调节幅度、眼压及立体视下降<sup>[15-16]</sup>。而Hirota等<sup>[17]</sup>则发现,使用VR头盔显示器和平面显示器进行不易诱发晕动症的视觉任务30 min后,主客观视疲劳均较使用前加重,但使用两种显示器后的视疲劳变化并没有明显区别。

现有的研究大多聚焦在30 min内相对较短时间使用VR显示设备后的眼部参数改变,而美国2018年的统计数据显示,AR头戴显示设备每次使用的平均时长达46.5 min。目前对于1 h相对较长时间的AR眼镜使用造成的眼部影响尚不清楚。因此,本研究选用一种基于几何光波导的新型AR眼镜,其外观类似普通眼镜(图1)。通过评估使用AR眼镜持续观看视频1 h后的主观感受及客观视功能检查,可以为AR显示设备的健康使用及相关临床症状的诊疗提供依据。

## 资料和方法

**一般资料** 本研究于2020年8—12月在上海交通大学招募健康志愿者25人(50眼),其中男8人,女17人。年龄20~31(25.04±2.53)岁。等效球镜度(spherical equivalent, SE)-5.75~0(-2.75±1.92)D。纳入标准:(1)年龄18~35岁;(2)单眼矫正视力≥1.00 D;(3)-6.00 D<SE<+1.00 D,双眼屈光参差<1.50 D;(4)1个月内无角膜接触镜配戴史;(5)1周内无眼部用药史;(6)1个月内未使用AR或VR设备。排除标准:(1)眼位及眼球运动异常;(2)立体视锐度>60"(Titmus立体视检查图);(3)有眼部器质性疾病;(4)有眼外伤及手术史;(5)有全身性疾病。本研究经上海交通大学医学院附属第一人民医院医学伦理委员会批准(伦理批文号:2018KY26



图1 增强现实眼镜

Fig 1 The augmented reality glasses

8),所有纳入人群在试验前均已签署知情同意书。

**试验环境和设备** 为保证视频观看效果,试验在暗环境(无日光灯照明,光照强度 $<0.1$  lux)中进行。本试验所用的AR眼镜是由上海理湃光晶技术有限公司设计研发的新型几何光波导AR眼镜。AR眼镜的主要参数如下:显示类型为LCOS;分辨率720 P(1 280 $\times$ 720);像素尺寸6  $\mu\text{m}$  $\times$ 6  $\mu\text{m}$ ;刷新率60 Hz;视场角40°(等效3米远86英寸虚拟屏幕);显示亮度300 nits;对比度 $>400:1$ ;光学畸变 $<4\%$ ;亮度均匀性 $\geq 50\%$ ;镜片透光率 $>80\%$ ;眼动范围9 mm $\times$ 6 mm;镜目距18 mm。

**主观视疲劳问卷** 本研究采用的视疲劳问卷改进自观看立体电视后视疲劳状态的主观问卷<sup>[18]</sup>。包含眼干涩、畏光、流泪、刺痛感、异物感、烧灼感、眼疲劳、复视、视物模糊或聚焦不准、头痛、头晕、恶心、呕吐等10个项目。每个项目按主观感受评分,从0~5分别对应完全没有、轻微、中等较轻微、中等、比较严重、严重共6个等级。记录每一项得分及各项总分。

**眼表功能检查** Keratograph 5M眼表综合分析仪(德国Oculus公司)测量泪河高度(tear meniscus height, TMH)、首次非侵入性泪膜破裂时间[first noninvasive break-up time, NIBUT(f)]及平均非侵入性泪膜破裂时间[average noninvasive break-up time, NIBUT(av)]。LipiView眼表面干涉仪(美国TearScience公司)检测泪膜脂质层厚度(lipid layer thickness, LLT),记录20 s内的总瞬目次数(total blinks, TB)及不完全瞬目次数(partial blinks, PB),

不完全瞬目比例(partial blink rate, PBR)为PB与TB的比值。

**屈光及调节功能检查** 遵循规范的主客观验光程序,在电脑客观验光基础上,使用综合验光仪进行主观验光,获得最佳矫正视力。用移近法分别测量双眼的调节近点,以厘米(cm)为单位;双眼调节灵活度用 $\pm 2.00$  D翻转拍法测量,记录1 min内完成的循环次数(cycle per minute, cpm);远距离水平隐斜值用马氏杆(Maddox)测量,内隐斜记录为正值,外隐斜为负值;Titmus立体视检查图测量立体视锐度;CSV-1000E对比敏感度检测仪(美国Vector Vision公司)测量空间频率为3、6、12和18(cycle per degree, cpd)的对比敏感度(contrast sensitivity function, CSF)。

**试验流程** 要求纳入人群在试验前一天保证充足的休息,避免过度用眼。试验前先行常规眼科检查以排除眼部器质性疾病。随后填写视疲劳问卷,再进行视功能检查,包括LLT、瞬目情况、NIBUT、TMH、主客观验光、调节近点、调节灵活度、隐斜、立体视和对比敏感度。本研究所使用的AR眼镜可适配矫正镜片。完成检查后,根据验光结果,在AR眼镜的光波导镜片后方插入相应的矫正镜片,受试者在屈光全矫的状态下,配戴AR眼镜连续观看视频1 h。片源内容节选自2D动画电影《大雨海棠》,分辨率720 P(1 280 $\times$ 720),帧率25 fps,码率627 Kbps。观看结束后1 min内再次完成视疲劳问卷,并重复上述检查。观看视频前后的所有检查均在30 min内完成。

**统计学方法** 使用G\*Power 3.1.9.7软件<sup>[19]</sup>的先验分析估计样本量。选用配对样本均数比较的统计模型,效应量为0.86,显著性水平 $\alpha$ 值为0.05。结果显示,为保证95%的检验效能,至少需要20例样本。使用SPSS 26.0软件进行统计分析。经检验符合正态分布的数据用 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用配对t检验;不符合正态分布的数据用中位数和四分位间距表示,采用配对样本比较的Wilcoxon符号秩和检验。来自双眼的数据使用广义估计方程来校正两眼间的相关性。Pearson相关分析用于评估视疲劳问卷总分的变化量与基线屈光度间的相关性。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 结 果

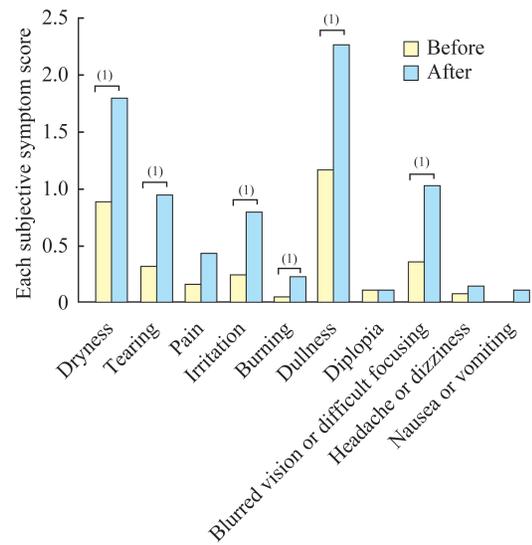
**视疲劳问卷** 使用AR眼镜连续观看2D视频1h后的视疲劳问卷总分较使用前明显上升,使用前(3.36 ± 2.77)分,使用后(7.96 ± 5.26)分,  $t = 5.578$ ,  $P < 0.001$ ,提示使用AR眼镜1h后的总体视疲劳症状加重。其中,各项视疲劳症状得分在使用AR眼镜1h前后的变化如图2所示,使用AR眼镜后的眼干涩( $t = 4.822$ ,  $P < 0.001$ )、眼畏光流泪( $t = 4.571$ ,  $P < 0.001$ )、眼异物感( $t = 4.303$ ,  $P < 0.001$ )、眼烧灼感( $t = 2.449$ ,  $P = 0.022$ )、眼疲劳( $t = 4.956$ ,  $P < 0.001$ )、视物模糊或聚焦不准( $t = 3.302$ ,  $P = 0.003$ )等症状均较使用前明显加重。而其他症状如眼刺痛感( $t = 1.572$ ,  $P = 0.129$ )、复视( $t < 0.001$ ,  $P = 1.000$ )、头痛头晕( $t = 1.445$ ,  $P = 0.161$ )、恶心呕吐( $t = 1.809$ ,  $P = 0.083$ )等在使用AR眼镜前后并无明显改变。

表1 使用AR眼镜连续观看2D视频1h前后眼表功能的变化

Tab 1 Changes in the ocular surface function after 1 h of continuous 2D video viewing with augmented reality glasses

Ocular surface function	Before	After	Wald $\chi^2$	P
Lipid layer thickness (nm)	61.22 ± 22.74	70.30 ± 25.59	10.330	<b>0.001</b>
Total blinks	10.96 ± 6.30	13.04 ± 6.36	5.950	<b>0.015</b>
Partial blinks	7.48 ± 4.57	6.76 ± 5.27	0.923	0.337
Partial blink rate	0.744 ± 0.292	0.581 ± 0.353	13.620	<b>&lt;0.001</b>
First noninvasive break-up time (s)	7.40 ± 4.12	7.65 ± 4.43	0.121	0.728
Average noninvasive break-up time (s)	9.04 ± 4.46	8.95 ± 4.34	0.016	0.900
Tear meniscus height (mm)	0.22 ± 0.08	0.23 ± 0.07	1.311	0.252

**屈光状态** 如图3所示,校正了两眼间的相关性后,使用AR眼镜连续观看2D视频1h后的SE较



(\*)  $P < 0.05$ .

图2 使用AR眼镜连续观看2D视频1h前后各项视疲劳症状得分的变化

Fig 2 Changes in the score of each visual fatigue symptom after 1 h of continuous 2D video viewing with augmented reality glasses

而视疲劳问卷总分在使用AR眼镜连续观看2D视频1h前后的变化量与使用前的基线SE之间并无显著相关性( $r = -0.246$ ,  $P = 0.235$ )。

**眼表功能** 如表1所示,校正了两眼间的相关性后,使用AR眼镜连续观看2D视频1h后的LLT较使用前明显增厚( $P = 0.001$ ),20s内的TB也明显增加( $P = 0.015$ )。使用AR眼镜1h后的PB较使用前有减小趋势,但差异并无统计学意义( $P = 0.337$ ),而PBR则较使用前明显减小( $P < 0.001$ )。NIBUT(f)、NIBUT(av)和TMH的差异在使用AR眼镜前后均无统计学意义( $P$ 均 $> 0.05$ )。

使用前减小,使用前(-2.75 ± 1.92)D,使用后(-2.86 ± 1.90)D,差异有统计学意义(Wald  $\chi^2 =$

16.531,  $P < 0.001$ )。

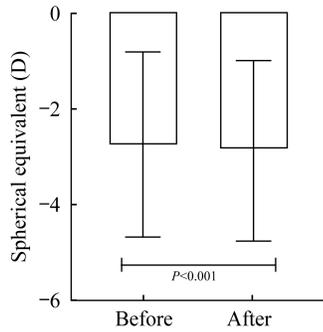


图3 使用AR眼镜连续观看2D视频1小时前后屈光状态的变化

Fig 3 Changes in the spherical equivalent after 1 h of continuous 2D video viewing with augmented reality glasses

**调节功能** 如表2所示,校正了两眼间的相关性后,使用AR眼镜连续观看2D视频1h后的调节近点较使用前明显远移( $P < 0.001$ )。而使用AR眼镜1h后的调节灵活度较使用前有增加趋势,但差异并无统计学意义( $P = 0.462$ )。

**其他视功能参数** 如表3所示,使用AR眼镜连续观看2D视频1h后的远距离水平隐斜值、立体视锐度以及4种空间频率下的对比敏感度与使用前的差异均无统计学意义( $P$ 均 $> 0.05$ )。

## 讨 论

随着显示技术的发展,电脑、手机等平面显示

终端已经不能满足人们认识世界的需求,而立体显示设备能够提供更为直观、全面的视觉信息,具有十分广阔的应用前景。VR、AR等新型立体显示设备也受到越来越多的关注。研究发现,快门、偏振等传统立体显示设备会引起视疲劳症状,甚至对视功能造成影响<sup>[8-13]</sup>。对于VR、AR等新型立体显示设备,既往的研究报道了相对短时间内使用VR头盔显示器所引起的视疲劳及眼部参数变化,而关于使用AR眼镜1h对视功能影响的研究仍十分缺乏。

因此,本研究选取了一种配戴较为舒适轻便的新型光波导AR眼镜,目前尚无对此AR眼镜的相关研究报道。通过眼表、屈光及调节功能等客观检查,结合主观视疲劳症状问卷,全面评估使用AR眼镜连续观看等效3m远的2D视频1h对健康成年人视觉功能的影响。

长时间注视计算机等视频显示终端(visual display terminal, VDT)会引起以眼部症状为主,甚至伴有全身肌肉骨骼症状的一系列表现<sup>[6]</sup>。本研究通过视疲劳问卷评估了使用AR眼镜前后的各项主观症状,发现使用AR眼镜连续观看视频1h后,总体的视疲劳情况加重,主要集中于眼干涩、畏光、流泪、异物感、烧灼感、眼疲劳、视物模糊或聚焦不准等眼部症状。而头痛头晕、恶心、呕吐等全身症状并无明显增加。Luberto等<sup>[20]</sup>认为,在VDT使用者中,屈光不正者可能比正视者更易出现视疲劳,而

表2 使用AR眼镜连续观看2D视频1h前后调节功能的变化

Tab 2 Changes in the accommodation function after 1 h of continuous 2D video viewing with augmented reality glasses

Accommodation function	Before	After	Wald $\chi^2 / t$	$P$
Near point of accommodation (cm)	8.98 ± 1.88	9.81 ± 1.94	15.067	<0.001
Accommodation facility (cpm)	13.90 ± 4.27	14.28 ± 4.57	0.747	0.462

表3 使用AR眼镜连续观看2D视频1h前后其他视功能参数的变化

Tab 3 Changes in the other visual functional parameters after 1 h of continuous 2D video viewing with augmented reality glasses

Visual Function	Before	After	$t / Z$	$P$
Far horizontal phoria ( $\Delta$ )	0.24 ± 2.42	-0.28 ± 2.07	-1.729	0.097
Stereoacuity (")	40 (40, 50)	40 (40, 80)	-0.674	0.500
Contrast sensitivity (cpd)				
3	5 (4, 6)	5 (4, 6)	-0.983	0.326
6	5 (4, 6)	5 (4, 6)	-0.212	0.832
12	5 (4, 5.25)	4.5 (4, 6)	-0.139	0.890
18	4 (3, 5)	4 (3.75, 5)	-1.877	0.061

Larese等<sup>[21]</sup>研究发现,视疲劳与VDT使用者的屈光不正无关。本研究对象中的屈光不正人群均在屈光全矫的状态下使用AR眼镜观看视频1h。相关性分析结果发现,使用AR眼镜1h后的主观视疲劳程度增加与使用者的基线屈光度无关。未矫正的屈光不正是VDT使用者出现视疲劳症状的一个重要因素<sup>[6]</sup>。因此,在屈光矫正的状态下使用AR眼镜可能在一定程度上消除了使用者的屈光不正对视疲劳的影响。

研究发现调节与集合的冲突是立体显示引起视疲劳的主要机制<sup>[22-24]</sup>。本研究评估使用AR眼镜前后的调节功能发现,使用AR眼镜观看视频1h后的调节能力下降,表现为调节近点远移,这与既往在偏振式立体显示器及VR设备中的发现一致<sup>[9-10,15-16]</sup>。在观看立体显示设备时,清晰的调节始终固定在真实的屏幕上,而集合则汇聚在由视差决定的屏幕前方或后方的虚拟影像上。集合联动的集合性调节远离屏幕,但物体的真实显示平面仍在屏幕上,调节离开屏幕将引起视网膜图像模糊,而模糊又驱动反应性调节返回屏幕。因此,集合性调节与反应性调节方向相反,反复波动,无法达到稳定状态。这种调节与集合的不一致打破了大脑正常的视觉反射环路,扰乱了双眼视觉的正常融像,增加了调节系统的负担,最终导致调节功能下降,引起视物模糊、聚焦不准等视疲劳症状。Suh等<sup>[13]</sup>发现观看快门式立体显示3h诱导了屈光度向近视偏移0.36D。而Lee等<sup>[15]</sup>则观察到使用VR设备10min后,屈光度0.14D的近视性偏移,这与本研究的结果一致。我们发现使用AR眼镜1h后屈光度向近视方向发生了0.11D的轻微偏移,进一步证实了调节集合冲突所导致的调节负担加重。另外,在本研究中,使用AR眼镜后的双眼调节灵活度有增加的趋势,但差异并无统计学意义。而Zhang等<sup>[11]</sup>研究发现观看偏振式立体显示30min后双眼调节灵活度明显提高。Guo等<sup>[14]</sup>也发现观看VR训练视频15min可以提高调节灵活度。这可能与观看时间不同有关。本研究中,1h较长时间的连续观看可能造成一定程度的调节疲劳,故而调节灵活度并无显著提升。但是,目前对于不同观看时长下使用不同立体显示设备对调节功能的影响仍无一定论。因此,仍需要扩大样本量进行进一步研究。

研究发现,观看快门式立体显示会导致眼位向

外隐斜视方向发展<sup>[8,12]</sup>,这可能与集合能力的下降有关。本研究发现,使用AR眼镜后的远距离水平隐斜也有向外隐斜视发展的趋势,但前后的差异并无统计学意义。由此可以推测,相较于传统立体显示设备,AR眼镜对集合能力的影响更小。立体显示通过改变视差来使图像离开注视平面,但调节始终保持在屏幕位置上,与自然观看环境不同,注视目标周边的物体也因与其位于同一平面而清晰聚焦,这种离焦模糊的缺失提高了空间频率,使融像区变小,融像困难。与此同时,注视目标周边清晰的图像不断刺激融像,双眼的融像尝试增加了大脑的融像负荷,从而导致融像性集合能力的下降。由于AR眼镜的半沉浸式特性,使用者可以同时观看虚拟影像与现实环境,自然环境的参与可能在一定程度上抵消了虚拟影像对融像集合能力的影响。

干眼也是使用计算机等平面显示设备所引起的主要眼部症状。在观看的过程中,用户的注意力高度集中于屏幕,瞬目频率减少,PB增加,眼表的暴露增加,泪液的蒸发也增多<sup>[25]</sup>。既往研究也发现,观看偏振、快门等传统3D电视会影响眼表功能,使泪膜稳定性下降<sup>[9-10]</sup>。而Marshav等<sup>[26]</sup>则发现,使用VR设备20min后的瞬目频率增加、瞬目持续时间延长、LLT增加,这与本研究的结果类似。本文对眼表功能的研究发现,使用AR眼镜后的20s内TB明显增加,PB虽无显著改变,但呈现出减少的趋势,最终导致PBR的明显减小。已有研究发现,瞬目频率增加与疲劳有关,随着大脑负荷增加,认知活跃度逐渐下降,注意力低下,对瞬目的抑制受阻,疲劳程度进一步加深,还会伴随瞬目时间延长<sup>[27]</sup>。本研究中TB的增加在一定程度上揭示了使用AR眼镜连续观看视频1h后精神活动的疲劳状态。调节与集合的不协调增加了大脑融像调节负荷,过量的视觉信息使得大脑的认知活动下降,TB随之增加,甚至出现瞬目时间延长,PB相对减少的情况。然而,瞬目运动作为一种眼表保护机制,将泪液脂质均匀涂布于眼表,使得LLT明显增加,而PBR的减少抑制了眼表泪液的蒸发,增加了泪膜稳定性,因此,本研究观察到连续1hAR眼镜使用后的泪膜破裂时间未发生明显改变。既往研究发现,1h以上的长时间VDT使用会破坏泪膜稳定性,引起干眼症状<sup>[25]</sup>,由此,我们建议AR眼镜的连续使用时间不应超过1h。

本研究的对象是25名20~31岁的健康成年人。因此,结论并不完全适用于其他年龄阶段的人群。儿童及青少年的视觉系统尚未发育成熟,AR显示设备的使用可能会影响视功能的发育,而老年人群的视功能存在不同程度的退化,可能更容易出现视疲劳,这些仍需要深入研究。本研究的样本量相对较少。使用G\*Power 3.1.9.7软件<sup>[19]</sup>进行分析,根据本研究的样本量和视功能参数结果,检验效能达98%。因此,本研究的样本量足以确定使用AR眼镜1 h前后的视功能变化。其次,本研究观察了使用AR眼镜1 h对视功能的短期影响,经一段时间休息后的恢复情况以及长期使用后的远期效应仍待进一步研究。

综上所述,本研究结果表明使用AR眼镜连续观看视频1 h会引起主观视疲劳症状,并导致屈光度向近视方向的轻微偏移(0.11 D),这可能与调节能力下降有关,但调节灵活度及隐斜值并未受到显著影响。在眼表功能方面,随着瞬目频率增加,PBR减小,LLT增加,维持了泪膜稳定性,泪膜破裂时间并无明显改变。因此,建议使用AR眼镜的连续观看时间不宜超过1 h。随着新型立体显示设备的发展和普及,对其使用安全性需要更深入的研究。通过对不同使用时长、使用环境、使用人群的进一步研究,不仅能为立体显示技术的改进提供相关依据,而且有助于规范化指导立体显示设备的健康使用。

**作者贡献声明** 刘璐 研究设计,数据收集、统计分析,论文构思、撰写和修订。胡晓璐,王雪彤 数据收集。端木海婴,倪冰冰 论文修订。柯碧莲 研究构思,论文修订。

**利益冲突声明** 所有作者均声明不存在利益冲突。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] CARMIGNIANI J, FURHT B. Augmented reality: an overview [M]//FURHT B. *Handbook of Augmented Reality*. New York: Springer, 2011: 3-46.
- [ 2 ] 肖江剑,周颐,周忠.虚拟现实增强技术综述[J].中国科学:信息科学,2015,45(2):157-180.
- [ 3 ] LIBERATORE MJ, WAGNER WP. Virtual, mixed, and augmented reality: a systematic review for immersive systems research[J]. *Virtual Real*, 2021, 25: 773-799.
- [ 4 ] SHARPLES S, COBB S, MOODY A, et al. Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems[J]. *Displays*, 2008, 29(2): 58-69.
- [ 5 ] KRESS B, STARNER T. A review of head-mounted displays (HMD) technologies and applications for consumer electronics [C/OL]//Photonic Applications for Aerospace, Commercial, and Harsh Environments IV, Baltimore, Maryland, United States, 2013: SPIE Defense, Security, and Sensing. (2013-05-31) [2022-03-20]. <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/8720/87200A/A-review-of-head-mounted-displays-HMD-technologies-and-applications/10.1117/12.2015654.short>.
- [ 6 ] GOWRISANKARAN S, SHEEDY JE. Computer vision syndrome: a review[J]. *Work*, 2015, 52(2): 303-314.
- [ 7 ] ZHANG W, WANG Z, XU J. Research on a surface-relief optical waveguide augmented reality display device [J]. *Appl Opt*, 2018, 57(14): 3720-3729.
- [ 8 ] KARPICKA E, HOWARTH PA. Heterophoria adaptation during the viewing of 3D stereoscopic stimuli[J]. *Ophthalm Physl Opt*, 2013, 33(5): 604610.
- [ 9 ] WOOKWEE S, MOON NJ. Clinical evaluation of accommodation and ocular surface stability relevant to visual asthenopia with 3D displays[J]. *BMC Ophthalmol*, 2014, 14(1): 29.
- [ 10 ] YUM HR, PARK SH, KANG HB, et al. Changes in ocular factors according to depth variation and viewer age after watching a three-dimensional display [J]. *Brit J Ophthalmol*, 2014, 98(5): 684-690.
- [ 11 ] ZHANG L, ZHANG YQ, ZHANG JS, et al. Visual fatigue and discomfort after stereoscopic display viewing[J]. *Acta Ophthalmol*, 2013, 91(2): e149-e153.
- [ 12 ] 汪育文,李美,余新平,等.持续观看立体(3D)视频对人眼视觉功能的影响[J].眼科新进展,2015,35(6):542-545.
- [ 13 ] 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[J]. *Invest Ophth Vis Sci*, 2012, 53(8): 5029-5032.
- [ 14 ] GUO D, ZHAN Y, WANG X, et al. Virtual reality training improves accommodative facility and accommodative range [J]. *Int J Ophthalmol*, 2022, 15(7): 1116-1121.
- [ 15 ] LEE SH, KIM M, KIM H, et al. Visual fatigue induced by watching virtual reality device and the effect of anisometropia[J]. *Ergonomics*, 2021, 64(12): 1522-1531.
- [ 16 ] LIN CH, LIN HC, CHEN CY, et al. Variations in intraocular pressure and visual parameters before and after using mobile virtual reality glasses and their effects on the

- eyes[J].*Sci Rep*,2022,12(1):3176.
- [17] HIROTA M, KANDA H, ENDO T, *et al.* Comparison of visual fatigue caused by head-mounted display for virtual reality and two-dimensional display using objective and subjective evaluation [J]. *Ergonomics*, 2019, 62 (6) : 759-766.
- [18] CHEN C, WANG J, LI K, *et al.* Visual fatigue caused by watching 3DTV: an fMRI study [J]. *Biomed Eng Online*, 2015, 14(Suppl 1):S12.
- [19] FAUL F, ERDFELDER E, LANG AG, *et al.* G\*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences [J]. *Behav Res Methods*, 2007, 39(2):175-191.
- [20] LUBERTO F, GOBBA F, BROGLIA A. Temporary myopia and subjective symptoms in video display terminal operators[J].*Med Lav*, 1989, 80(2):155-163.
- [21] LARESE FF, DRUSIAN A, RONCHESE F, *et al.* Video display operator complaints: a 10-year follow-up of visual fatigue and refractive disorders [J]. *Int J Env Res Pub He*, 2019, 16(14):2501.
- [22] HOFFMAN DM, GIRSHICK AR, AKELEY K, *et al.* Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue [J]. *J Vision*, 2008, 8 (3):33.1-30.
- [23] NOJIRI Y, YAMANOUE H, HANAZATO A, *et al.* Visual comfort/discomfort and visual fatigue caused by stereoscopic HDTV viewing [C/OL]//Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XI, San Jose, California, United States, 2004: Electronic Imaging 2004. (2004-05-21)[2022-03-20].<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/5291/0000/Visual-comfort-discomfort-and-visual-fatigue-caused-by-stereoscopic-HDTV/10.1117/12.522018.short>.
- [24] UKAI K, HOWARTH PA. Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: background, theories, and observations [J]. *Displays*, 2008, 29(2):106-116.
- [25] FJAERVOLL H, FJAERVOLL K, MAGNO M, *et al.* The association between visual display terminal use and dry eye: a review [J]. *Acta Ophthalmol*, 2022, 100(4):357-375.
- [26] MARSHEV V, BOLLOC' H J, PALLAMIN N, *et al.* Impact of virtual reality headset use on eye blinking and lipid layer thickness [J]. *J Fr Ophthalmol*, 2021, 44(7):1029-1037.
- [27] SCHLEICHER R, GALLEY N, BRIEST S, *et al.* Blinks and saccades as indicators of fatigue in sleepiness warnings: looking tired? [J]. *Ergonomics*, 2008, 51(7):982-1010.
- (收稿日期:2022-03-28; 编辑:张秀峰)
- 
- (上接第344页)
- [30] 梁辰,施榕,朱静芬,等.上海市浦东新区社区2型糖尿病患者糖尿病性视网膜病变的患病情况及影响因素调查 [J]. *中国全科医学*, 2016, 19(4):474-478.
- [31] FEKADU G, BULA K, BAYISA G, *et al.* Challenges and factors associated with poor glycemic control among type 2 diabetes mellitus patients at Nekemte Referral Hospital, Western Ethiopia [J]. *J Multidiscip Healthc*, 2019, 12: 963-974.
- [32] 蒋媛,蒋灵俊,刘素珍,等.社区管理的2型糖尿病患者慢性并发症监测行为及其影响因素研究 [J]. *中国全科医学*, 2022, 25(1):70-78.
- [33] 张贵森,莫日格吉力吐,任凤梅,等.呼和浩特地区糖尿病视网膜病变流行病学调查 [J]. *中国实用眼科杂志*, 2017, 35(4):428-433.
- [34] TING DS, CHEUNG GC, WONG TY. Diabetic retinopathy: global prevalence, major risk factors, screening practices and public health challenges: a review [J]. *Clin Exp Ophthalmol*, 2016, 44(4):260-277.
- [35] TAYLOR-PHILLIPS S, MISTRY H, LESLIE R, *et al.* Extending the diabetic retinopathy screening interval beyond 1 year: systematic review [J]. *Br J Ophthalmol*, 2016, 100(1):105-114.
- (收稿日期:2022-02-09; 编辑:张秀峰)