

·论著·

台式虚拟现实显示器对数字眼疲劳预防作用的初步研究

甄毅¹ 高杰² 张伟¹ 程德文³ 沈文睿³ 王宁利¹¹首都医科大学附属北京同仁医院 北京市眼科研究所 国家眼科诊断与治疗工程技术研究中心 眼科诊疗设备与材料教育部工程研究中心 100730;²北京天明眼科新技术开发公司 100005;³北京理工大学 100081

通信作者:王宁利, Email: wningli@vip.163.com

【摘要】目的 探讨台式虚拟现实显示器对近距离观看视频所致数字眼疲劳的预防作用。设计 交叉实验研究。研究对象 成年健康受试者 31 例。方法 受试者随机分两组,第一组先使用手机、后使用台式虚拟显示器观看相同的视频 10 分钟,中间休息 30 分钟;第二组使用相反的顺序观看。使用开放式验光仪记录观看视频前、中、后的屈光度,并计算调节误差、调节微波动。选取右眼数据进行统计分析。使用 Likert 量表记录观看视频前、后的主观视疲劳评分。主要指标 观看视频前后屈光度、调节微波动、调节误差、视疲劳量表评分。结果 观看视频前,采用手机和采用台式虚拟现实显示器者的屈光度分别为 (-0.30 ± 0.54) D 和 (-0.29 ± 0.58) D($P=0.928$),调节微波动分别为 (0.15 ± 0.07) D 和 (0.15 ± 0.08) D($P=0.858$)。观看视频 5 分钟时,采用手机者的屈光度为 (-3.32 ± 0.68) D,较观看前明显降低($P=0.000$);采用台式虚拟现实显示器观看者的屈光度为 (-0.39 ± 0.63) D,较观看前未见明显降低($P=0.168$);采用手机观看和采用台式虚拟现实显示器观看者的调节微波动分别为 (0.33 ± 0.10) D 和 (0.21 ± 0.10) D($P=0.000$);采用手机观看者调节误差为滞后 (0.25 ± 0.68) D,采用台式虚拟现实显示器观看者调节误差为超前 (0.09 ± 0.63) D($P=0.044$)。观看完视频后,采用手机观看者的屈光度为 (-0.53 ± 0.56) D,较观看前明显降低($P=0.000$);采用台式虚拟显示器观看者的屈光度为 (-0.34 ± 0.61) D,较观看视频前未见明显降低($P=0.335$)。观看视频后,采用手机和台式虚拟显示器者的视疲劳量表评分较观看前均增加,分别增加了 (8.4 ± 8.3) 和 (2.5 ± 3.8) ($P=0.001$)。结论 应用台式虚拟显示器可以预防近距离观看视频引起的数字眼疲劳,这可能与观看时不需要视近调节有关。(眼科, 2022, 31: 225-230)

【关键词】数字眼疲劳;虚拟现实

基金项目:北京市科技计划(Z201100005520042)

DOI: 10.13281/j.cnki.issn.1004-4469.2022.03.011

Prevention efficacy of desktop virtual reality display on digital eye strain

Zhen Yi¹, Gao Jie², Zhang Wei¹, Cheng Dewen³, Shen Wenrui³, Wang Ningli¹¹Beijing Institute of Ophthalmology, Engineering Research Center of Ministry of Education for Ophthalmology Medical Equipment and Materials, National Engineering Research Center for Ophthalmology, Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, Beijing 100730, China; ² Beijing Tianming Ophthalmology New Technology Development Company, Beijing 100005, China; ³ Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

Corresponding author: Wang Ningli, Email: wningli@vip.163.com

【Abstract】Objective To investigate the preventive effect of desktop virtual monitors on digital eye fatigue caused by watching videos at close range. Design Crossover design experiment study. Participants 31 adult healthy subjects. Methods The subjects were randomly divided into two groups. The first group watched the same video for 10 minutes using a mobile phone and then a desktop virtual monitor, with a 30-minute break; the second group watched the same videos in reverse order. An open refractometer was used to record the diopter before, during and after watching the video, and the accommodative micro-fluctuation and accommodative error were calculated. The data of the right eyes were used to analyse. The subjective visual fatigue score before and after watching the video was recorded using the Likert scale. Main Outcome Measures Diopter, accommodative micro-fluctuation, accommodative error and visual fatigue scale scores before and after watching videos. Results The diopter of the eyes using the mobile phone and using the desktop virtual monitor before watching the video was (-0.30 ± 0.54) D and (-0.29 ± 0.58) D, respectively ($P=0.928$). When watching the video for 5 minutes, the diopter of the eyes using mobile phone was (-3.32 ± 0.68) D, which was significantly lower than that before watching the video ($P=0.000$); the diopter of the eyes using the desktop virtual monitor was (-0.39 ± 0.63) D, which was not significantly different from

that before watching the video($P=0.168$); the accommodative micro-fluctuation of the mobile phone viewer and the desktop virtual monitor viewer was (0.33 ± 0.10) D and (0.21 ± 0.10) D, respectively ($P=0.000$); the accommodative error of the mobile phone viewer was lagging (0.25 ± 0.68) D, and of the viewer using the desktop virtual monitor was leading (0.09 ± 0.63) D ($P=0.044$). After watching the video, the diopter of the eyes using the mobile phone was (-0.53 ± 0.56) D, which was significantly lower than that before viewing ($P=0.000$); the diopter of the eyes using the desktop virtual monitor was (0.34 ± 0.61) D, which was no significant different compared with that before viewing ($P=0.335$). After watching the video, the visual fatigue scale score of the mobile phone viewers and the desktop virtual display viewers was increased (8.4 ± 8.3) and (2.5 ± 3.8) , respectively ($P=0.001$). **Conclusion** Applying a desktop virtual display can prevent digital eye strain caused by watching videos at close range, which may be related to the lack of myopia adjustment during viewing. (*Ophthalmol CHN*, 2022, 31: 225-230)

【Key words】digital eye strain; virtual reality

Fund program: Beijing Municipal Science and Technology Project (Z201100005520042)

DOI:10.13281/j.cnki.issn.1004-4469.2022.03.011

计算机视觉综合征 (computer vision syndrome, CVS) 是指一系列使用电脑后出现的与眼和视力相关的症状,20 多年来一直是公认的眼健康问题^[1]。智能手机、平板电脑等数字终端出现后,为了便于与患者交流,逐渐开始用数字眼疲劳 (digital eye strain, DES) 代替 CVS^[2]。近十年各年龄段人群使用数字终端的时间均明显增长,欧美国家成年人每天使用数字终端的时间平均在 4~5 小时,英国 3 岁儿童中有 68% 会接触到数字终端,2011 年至 2017 年英国 75 岁以上人群经常上网的比率由 52% 增长到 75%^[3-5]。2016 年的数据显示,使用数字终端的人群中 DES 的发生率约 65%,按此计算全球有数以十亿计的人处于 DES 风险中^[6]。DES 的长期存在会给患者带来显著、频繁的不适,并因工作效率的降低而造成经济损失^[7]。DES 的症状主要分为两大类:一是眼部烧灼感、刺激感、流泪,与干眼密切相关;二是眼胀、恶心、头痛,与调节或集合异常有关^[8]。与此相对应,DES 的干预措施包括治疗干眼、矫正屈光不正、改善调节或集合异常^[9]。其中 DES 相关的调节或集合异常主要与长时间、近距离使用数字终端有关^[10-11]。常用于干预措施主要包括休息时看远放松和换用投影、大屏幕液晶显示器以增加观看距离两种方法,前者仅为对症,后者虽然为对因治疗但受使用空间的限制很难在日常办公、学习环境中使用^[12-13]。虚拟现实(virtual reality, VR)眼镜虽然可以在较小的空间内模拟看远,但是研究发现其与传统显示器相比在观看视频过程中会引起更程度的视疲劳,这与其佩戴方式增加了头颈部肌肉的负荷有关^[14]。为解决上述问题,我们研发了台式虚拟现实显示器 (以下简称台式 VR),该设备基于 Birdbath 光学设计和自由曲面镜技术 (图 1),采用台式显示器外观设计,可以将 30 cm 处的实像变成 3 米以外

的虚像,实现近变远的转化 (图 2),使用该设备在书桌狭小的空间内即可模拟出课堂上远距离观看黑板的效果 (图 3)。本研究通过比较受试者使用手机和台式 VR 近距离观看视频前后眼部参数的变化,讨论台式 VR 是否可以预防近距离观看视频导致的

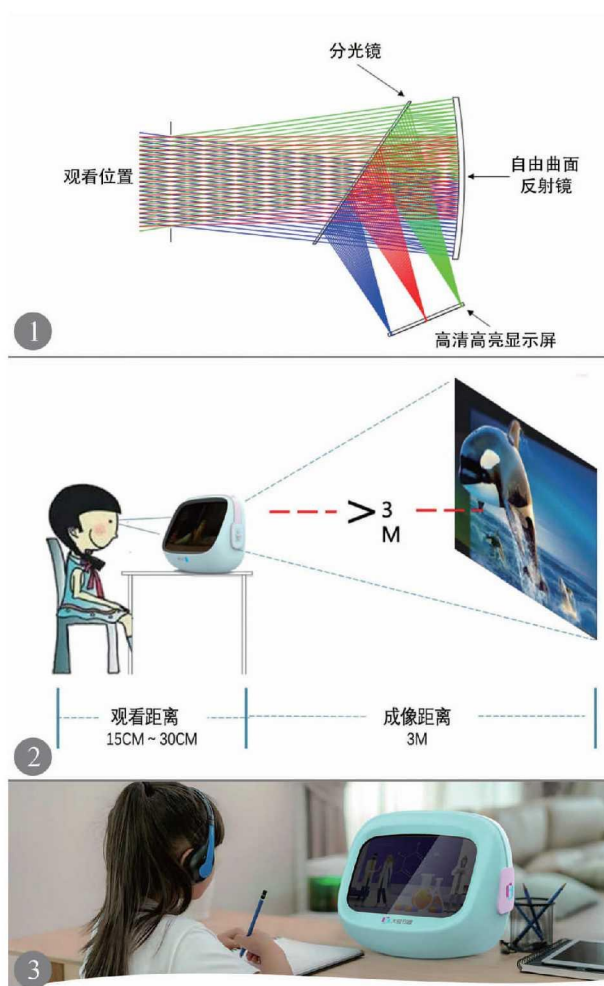


图 1 台式 VR 的设计原理 图 2 台式 VR 中显示影像近变远转化示意图 图 3 台式 VR 的使用场景示意图

DES。

资料和方法

一、研究对象

本研究从北京同仁医院招募健康受试者 31 名,男性 12 名,女性 19 名,平均年龄(29.6±9.3)岁,平均等效球镜(-2.23±3.09)D。研究获得了北京同仁医院伦理委员会的批准并遵守赫尔辛基宣言,所有受试者均签署了知情同意书。入选标准:矫正视力≥1.0;近 2 年等效球镜度数变化的绝对值≤0.25 D,等效球镜度数为(+0.50~-6.00)D;散光<0.75 D,屈光参差<0.50 D。排除标准:调节功能异常;眼部器质性病变;眼位及眼球运动异常。所有入选的屈光不正受试者均佩戴框架或隐形眼镜矫正视力,在同一天完成两种显示设备的测试。本试验采用区组随机方法进行分组,通过 SAS 统计学软件按 1:1 的比例用区组随机方法产生先用手机观看视频组和先用台式 VR 观看视频组的随机编码,严格按照随机化设计序列纳入受试者。选取所有受试者的右眼数据进行分析。

二、实验设备和环境

屈光度测量仪器为 WV5500 型开放式自动验光仪(Grand Seiko, Hiroshima, 日本),近距离观看的视频分别在 6.5 英寸手机(华为 Mate30 pro)、台式 VR 中播放。手机和台式 VR 可以快速在验光仪上拆装,看近时固定在验光仪上,看远时从验光仪上卸下。使用 Likert 量表的方法评估视疲劳症状,受试者需回答的问题如下:(1)看图像时视物模糊;(2)看完近处图像后抬头向远处看时视物模糊;(3)从一个距离到另一个距离聚焦时困难或缓慢;(4)眼刺激或灼热;(5)眼干涩;(6)眼疲劳;(7)眼胀;(8)头痛;(9)对强光敏感;(10)眼不舒服^[15]。受试者每个问题有 5 个答案选项分别是:非常同意、同意、不一定、不同意、非常不同意,对应 4~0 分。为避免由于环境亮度等的变化对调节反应可能造成的干扰,实验环境中除屏幕亮度外无反光物体存在,室内的光照保持 300 Lux。使用手机观看视频时,受试者眼到手机距离的实测值为 28 cm,对应的调节刺激为-3.57 D;使用台式 VR 观看视频时,受试者眼到台式 VR 倾斜玻璃屏幕中点的距离为 28 cm,从屏幕中点到

台式 VR 所成虚像的距离为 3 米,对应的调节刺激为-0.30 D。

三、实验过程

实验开始后受试者先在暗室内静坐 5 分钟,去除之前近距离用眼对调节的影响。双眼注视 5 米处视力表(Lighthouse Modified ETDRS 表,美国)0.6 的视标。测量右眼屈光度,屈光不正患者需戴眼镜,采集 10 秒钟 50 个屈光数据,计算平均等效球镜作为观看前的屈光度。填写观看视频前视疲劳量表。受试者按随机分组的结果使用固定在开放式验光仪上的手机或台式 VR 观看视频 10 分钟,视频的内容相同。在刚开始观看时和观看 5 分钟时分别记录 10 秒钟的屈光度,观看完视频后,在 2 秒内移除显示器或手机并让受试者注视远处的视力表 0.6 的视标,再记录 10 秒的屈光度数据。开放验光仪采集的多次测量数据的平均值为屈光度,标准差为调节微波动值。调节误差为近距离用时需要的调节减去实际发生的调节,负值为调节滞后,正值为调节超前。

观看视频后填写视疲劳量表。嘱患者闭眼休息 30 分钟后,使用另一种显示设备观看视频并测量屈光度和填写视疲劳量表。

四、统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件进行数据处理。采用配对 *t* 检验比较受试者观看视频前后屈光度、视疲劳量表评分的差异;采用析因设计的方差分析比较受试者使用不同设备观看视频的各参数的差异。假设检验均采用双侧检验,各组间整体比较检验水准为 0.05。

结 果

31 名受试者使用两种不同设备观看视频前、观看时、观看后的屈光度比较见表 1。在观看视频前,两组受试者的屈光度的差异无统计学意义($F=0.008, P=0.928$)。开始观看视频时,手机组($t=21.903,$

表 1 使用两种不同设备观看视频前后屈光度的比较

项目	手机观看组	台式 VR 观看组	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
看视频前屈光度	-0.30 ± 0.54	-0.29 ± 0.58	0.008	0.928
开始观看视频时的屈光度	-3.45 ± 0.68	-0.43 ± 0.57	316.679	0.000
开始观看视频时的调节误差	-0.12 ± 0.57	0.13 ± 0.57	2.111	0.151
观看视频 5 分钟时屈光度	-3.32 ± 0.68	-0.39 ± 0.63	309.881	0.000
观看视频 5 分钟时调节误差	-0.25 ± 0.68	0.09 ± 0.63	4.248	0.044
结束观看视频时屈光度	-0.53 ± 0.56	-0.34 ± 0.61	1.673	0.201
结束观看视频时近视的增加度数	0.22 ± 0.23	0.04 ± 0.24	9.185	0.004

$P=0.000$)和台式 VR 组($t=2.245, P=0.032$)的屈光度均出现了明显的降低,但降低值台式 VR 组明显低于手机组($F=316.679, P=0.000$);观看视频 5 分钟时,手机组屈光度依然明显降低($t=20.431, P=0.000$),台式 VR 组屈光度与观看视频前无差别($t=1.413, P=0.168$),降低值台式 VR 组依然明显低于手机组($F=348.756, P=0.000$);结束观看视频后,手机组屈光度明显低于观看前($t=5.474, P=0.000$),台式 VR 组与观看前无差别($t=0.979, P=0.335$),两组的降低值间存在明显差别($F=9.185, P=0.004$)(图 4)。手机组的调节误差为调节滞后,台式 VR 组为调节超前,在刚开始观看视频时两组的差异无显著性($F=2.111, P=0.151$);观看视频 5 分钟后,两组的差别出现了显著性($F=4.248, P=0.044$)。

如表 2 所示,观看视频前,两组的调节微波动无明显差异,开始观看视频后台式 VR 组($t=-4.856, P=0.000$)和手机组($t=-8.101, P=0.000$)的调节微波动均出现明显升高,但升高幅度台式 VR 组明显低于手机组($F=17.314, P=0.000$)。在停止观看视频后,台式 VR 组的调节微波动与观看前无差异($t=0.240, P=0.812$),手机组的调节微波动与观看前仍有明显差异($t=-2.174, P=0.000$)(图 5)。

观看视频前手机、台式 VR 的视疲劳量表评分无明显差异,观看视频后台式 VR 组的视疲劳量表评分和评分的增加值均明显低于手机组($F=11.053, 12.806, P=0.002, 0.001$)(表 3)。

讨 论

随着移动互联网和社交媒体的普及,视疲劳已经逐渐从长期在工作场所使用计算机导致的眼健康问题转变为更广泛的公共卫生问题^[16]。相关的命名也经历了从视疲劳、CVS 到 DES 的演进^[2, 16-17]。每

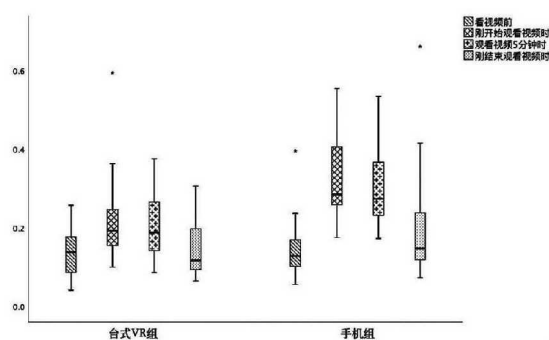
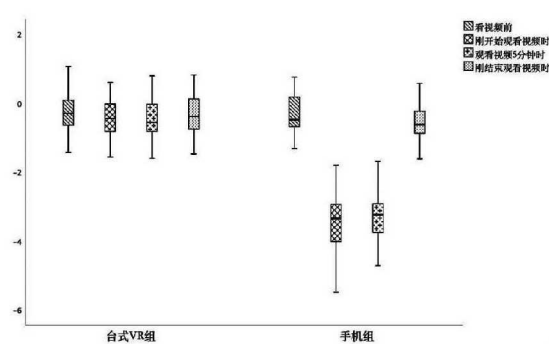


图 4 使用两种不同设备观看视频前后不同时间点的屈光度
图 5 使用两种不同设备观看视频前后不同时间点的调节微波动

天使用手机超过 4 小时,会显著增加 DES 的发病率^[18-19]。Lee 等^[20]的研究表明,在连续进行 4 小时的电脑游戏后,受试者出现了调节、集合障碍和外隐斜,在睡眠休息后的第二天早上指标仍未恢复正常。韩国的一项研究发现,小学生每天使用手机超过 4 小时,4 个月后可能诱发急性获得性内斜视^[21]。电子游戏相关的 DES 已被世界卫生组织(WHO)正式列为疾病^[22]。上述问题的产生主要与使用数字终端时距离过近有关,Jaschinski^[23]发现,将观看屏幕的距离由 60 cm 缩短到 40 cm 和 30 cm 时,DES 的程度显著增加。

数字终端的人体工程学改造是预防 DES 的重要研发方向,主要包括显示光源、使用距离、图像参数(分辨率、文字大小、对比度、亮度)三个方面^[24-26]。在显示光源改造方面,Shantakumari 等^[27]、Ranasinghe 等^[28]的研究发现屏幕光线滤过膜可以减轻 DES,而在 Scullica 等^[29]、Reddy 等^[30]的研究中

表 2 使用两种不同设备观看视频前后调节微波动的比较

项目	手机组	台式 VR 组	F 值	P 值
看视频前调节微波动	0.15 ± 0.07	0.15 ± 0.08	0.032	0.858
开始观看视频时的调节微波动	0.33 ± 0.10	0.21 ± 0.10	19.635	0.000
观看视频 5 分钟时的调节微波动	0.31 ± 0.09	0.21 ± 0.10	15.239	0.000
结束观看视频时的调节微波动	0.19 ± 0.12	0.14 ± 0.07	3.939	0.052

表 3 使用两种不同设备观看视频前后视疲劳量表评分的比较

项目	手机组	台式 VR 组	F 值	P 值
观看视频前视疲劳问卷评分	2.4 ± 1.5	2.1 ± 1.4	0.642	0.426
观看视频后视疲劳问卷评分	10.7 ± 9.3	4.5 ± 4.7	11.053	0.002
视疲劳问卷评分变化	8.4 ± 8.3	2.5 ± 3.8	12.806	0.001

则并未发现屏幕光线滤过膜可以减轻 DES。在改变使用距离方面,Reddy 等^[30]发现单纯休息并不能有效减轻 DES 的症状,而在休息时看远则可明显改善 DES。近距离观看数字智能终端 20 分钟后观看 20 英尺以外的物体 20 秒已成为缓解 DES 的有效方法^[31]。

上述方法虽然取得了一定效果,但是并未对数字终端本身造成 DES 的原因有任何改变,而台式 VR 则通过增加屏幕所成图像距眼的距离减少了 DES 的诱因(图 1)。为了舒适地执行近距离工作任务,人眼必须能够快速、平稳地进行调节^[32]。与印刷材料相比,使用数字终端会增加调节滞后,Wick 等^[33]的研究结果显示观看计算机屏幕后会出现 0.33 D 的调节滞后,Collier 和 Rosenfield^[34]则记录到了 0.93 D 的调节滞后。本研究中我们观察到在观看距离相同的情况下,台式 VR 实际诱发的调节显著低于手机诱发的调节,这与台式 VR 采用的共轴折反自由曲面光学方案有关。该设计通过自由曲面反射镜将光线发散,从而将眼前 28 cm 处 6 英寸屏幕中的图像变成了 3 米处 63 英寸的图像。由于看清视频所需要的调节需求低,使观看台式 VR 时发生的调节滞后低于手机。随着观看时间的增长,手机组的调节力降低,调节滞后增加;台式 VR 组的调节力也出现了降低,但幅度小于手机组,最后导致在 5 分钟时两组的调节滞后出现显著性差异。在观看完 10 分钟的视频后,台式 VR 组近视增加的度数也明显低于手机组,这与观看视频过程时距离远、所需的调节力小有关。

调节微波动反映了眼聚焦在近处物体的稳定性,是反应调节系统疲劳性的另一重要指标^[35]。Jeng 等^[36]发现观看电子文档后调节微波动增加的幅度大于观看印刷文档。从本研究中可以看到,观看视频后台式 VR 组的调节微波动增加得更少,恢复得更快,从另一个方面验证了台式 VR 降低调节负荷的效果。除改变图像距眼的距离外,台式 VR 还将光线由直射入眼改为反射入眼。Sheedy 等^[37]发现在观看屏幕时,来自上半视野的眩光会加重 DES,台式 VR 显示器的屏幕与地面平行且经过了自由曲面镜的反射,从原理上大大减少了眩光导致 DES 的可能性。

头戴式 VR 设备与传统显示器相比在使用过程中会引起更高度度的视疲劳,增幅高达 60%^[38],与佩戴头戴式 VR 后增加了头颈部肌肉负荷有关^[14]。如

表 3 所示台式 VR 组观看视频后主观疲劳评分无明显变化且显著低于手机。原因是使用时无需佩戴在头部,不增加头颈部和眼部肌肉的负担,与 Srivastava 等^[39]的观点一致。本研究的主要目的是验证新研制的台式 VR 的安全性和预防 DES 的有效性,因此仅招募了成年人志愿者进行了短时间观看视频的试验。鉴于本研究取得的较好结果,下一步我们将从延长测试时间、增加工作内容、纳入青少年儿童几个方面入手,更加全面地评价其对 DES 和青少年近视的预防作用。

综上所述,本研究通过比较受试者近距离使用手机和台式 VR 前后主、客观参数的改变,初步验证了台式 VR 与手机相比,可降低调节负荷和调节滞后,使用过程中不会引起主观疲劳评分的增加,初步探讨了其在 DES 预防中的价值。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Dain SJ, Mccarthy AK, Chan-Ling T. Symptoms in VDU operators. *Am J Optom Physiol Opt*, 1988, 65(3): 162-167.
- [2] Auffret É, Gomart G, Bourcier T, et al. Digital eye strain. Symptoms, prevalence, pathophysiology, and management. *J Fr Ophthalmol*, 2021, 44(10): 1605-1610.
- [3] Palaiologou I. Children under five and digital technologies: implications for early years pedagogy. *EECERJ*, 2016, 24(1): 5-24.
- [4] Al Tawil L, Aldokhayel S, Zeitouni L, et al. Prevalence of self-reported computer vision syndrome symptoms and its associated factors among university students. *Eur J Ophthalmol*, 2020, 30(1): 189-195.
- [5] Mohan A, Sen P, Shah C, et al. Prevalence and risk factor assessment of digital eye strain among children using online e-learning during the COVID-19 pandemic: digital eye strain among kids (DESK study-1). *Indian J Ophthalmol*, 2021, 69(1): 140.
- [6] Nagata JM, Magid HSA, Gabriel KP. Screen time for children and adolescents during the coronavirus disease 2019 pandemic. *Obesity*, 2020, 28(9): 1582-1583.
- [7] Daum KM, Clore KA, Simms SS, et al. Productivity associated with visual status of computer users. *Optometry*, 2004, 75 (1): 33-47.
- [8] Sheedy JE, Hayes JN, Engle J. Is all asthenopia the same?. *Optom Vis Sci*, 2003, 80(11): 732-739.
- [9] Rosenfield M. Computer vision syndrome: a review of ocular causes and potential treatments. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2011, 31(5): 502-515.
- [10] Fujita H, Sano K, Baba T, et al. Blind working time in visual display terminal users. *J Occup Health*, 2019, 61(2): 175-181.

- [11] Larese Filon F, Drusian A, Ronchese F, et al. Video display operator complaints: a 10-year follow-up of visual fatigue and refractive disorders. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16 (14): 2501.
- [12] Galinsky T, Swanson N, Sauter S, et al. Supplementary breaks and stretching exercises for data entry operators: a follow-up field study. *Am J Ind Med*, 2007, 50(7): 519-527.
- [13] Balci R, Aghazadeh F. The effect of work-rest schedules and type of task on the discomfort and performance of VDT users. *Ergonomics*, 2003, 46(5): 455-465.
- [14] Saredakis D, Szpak A, Birkhead B, et al. Factors associated with virtual reality sickness in head-mounted displays: a systematic review and meta-analysis. *Front Hum Neurosci*, 2020, 14: 96.
- [15] Portello JK, Rosenfield M, Bababekova Y, et al. Computer-related visual symptoms in office workers. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2012, 32(5): 375-382.
- [16] Blehm C, Vishnu S, Khattak A, et al. Computer vision syndrome: a review. *Surv Ophthalmol*, 2005, 50(3): 253-262.
- [17] Sheppard AL, Wolffsohn JS. Digital eye strain: prevalence, measurement and amelioration. *BMJ Open Ophthalmol*, 2018, 3(1): e000146.
- [18] Moon JH, Lee MY, Moon NJ. Association between video display terminal use and dry eye disease in school children. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus*, 2014, 51(2): 87-92.
- [19] Moon JH, Kim KW, Moon NJ. Smartphone use is a risk factor for pediatric dry eye disease according to region and age: a case control study. *BMC Ophthalmol*, 2016, 16(1): 188.
- [20] Lee JW, Cho HG, Moon BY, et al. Effects of prolonged continuous computer gaming on physical and ocular symptoms and binocular vision functions in young healthy individuals. *Peer J*, 2019, 7: e7050.
- [21] Lee HS, Park SW, Heo H. Acute acquired comitant esotropia related to excessive Smartphone use. *BMC Ophthalmol*, 2016, 16: 37.
- [22] Ostinelli EG, Zangani C, Giordano B, et al. Depressive symptoms and depression in individuals with internet gaming disorder: a systematic review and meta-analysis. *J Affect Disord*, 2021, 284: 136-142.
- [23] Jaschinski W. Fixation disparity at different viewing distances and the preferred viewing distance in a laboratory near-vision task. *Ophthalmic Physiol Opt*, 1998, 18(1): 30-39.
- [24] Tsubota K, Nakamori K. Dry eyes and video display terminals. *N Engl J Med*, 1993, 328(8): 584.
- [25] Gowrisankaran S, Sheedy JE, Hayes JR. Eyelid squint response to asthenopia-inducing conditions. *Optom Vis Sci*, 2007, 84(7): 611-619.
- [26] Agarwal S, Goel D, Sharma A. Evaluation of the factors which contribute to the ocular complaints in computer users. *J Clin Diagn Res*, 2013, 7(2): 331-335.
- [27] Shantakumari N, Eldeeb R, Sreedharan J, et al. Computer use and vision-related problems among university students in ajman, United arab emirate. *Ann Med Health Sci Res*, 2014, 4 (2): 258-263.
- [28] Ranasinghe P, Wathurapatha WS, Perera YS, et al. Computer vision syndrome among computer office workers in a developing country: an evaluation of prevalence and risk factors. *BMC Res Notes*, 2016, 9: 150.
- [29] Scullica L, Rechichi C, De Mojà CA. Protective filters in the prevention of asthenopia at a video display terminal. *Percept Mot Skills*, 1995, 80(1): 299-303.
- [30] Reddy SC, Low CK, Lim YP, et al. Computer vision syndrome: a study of knowledge and practices in university students. *Nepal J Ophthalmol*, 2013, 5(2): 161-168.
- [31] Tribbley J, McClain S, Karbasi A, et al. Tips for computer vision syndrome relief and prevention. *Work*, 2011, 39(1): 85-87.
- [32] Wick B, Hall P. Relation among accommodative facility, lag, and amplitude in elementary school children. *Am J Optom Physiol Opt*, 1987, 64(8): 593-598.
- [33] Wick B, Morse S. Accommodative accuracy to video display monitors. *Optomet Vis Sci*, 2002, 79(12): 218.
- [34] Collier JD, Rosenfield M. Accommodation and convergence during sustained computer work. *Optometry*, 2011, 82(7): 434-440.
- [35] Kajita M, Ono M, Suzuki S, et al. Accommodative microfluctuation in asthenopia caused by accommodative spasm. *Fukushima J Med Sci*, 2001, 47(1): 13-20.
- [36] 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 (29): H76-84.
- [37] Sheedy JE, Truong SD, Hayes JR. What are the visual benefits of eyelid squinting?. *Optom Vis Sci*, 2003, 80(11): 740-744.
- [38] Kim E, Shin G. User discomfort while using a virtual reality headset as a personal viewing system for text-intensive office tasks. *Ergonomics*, 2021, 64(7): 891-899.
- [39] Srivastava P, Rimzhim A, Vijay P, et al. Desktop VR is better than non-ambulatory HMD VR for spatial learning. *Front Robot AI*, 2019, 6: 50.

(收稿日期: 2021-12-19)