

· 论著 ·

使用远像光屏进行阅读学习的临床价值

甄毅¹ 张伟¹ 申婧¹ 程德文² 沈文睿² 王宁利¹¹首都医科大学附属北京同仁医院北京同仁眼科中心 北京市眼科研究所 北京市眼科学与视觉科学重点实验室, 北京 100730; ²北京理工大学光电学院, 北京 100081

通信作者: 王宁利, Email: wningli@vip.163.com

【摘要】 目的 探讨使用远像光屏进行阅读学习的效果与舒适性。**方法** 前瞻性交叉试验。于 2021 年 7 月通过首都医科大学附属北京同仁医院招募成年受试者 39 人, 男性 16 人, 女性 23 人, 年龄 (26.4±4.5) 岁。按区组随机方法决定先用印刷品阅读 (19 人) 和先用远像光屏阅读 (20 人), 先后阅读打印在纸张上 (印刷品) 的和显示在远像光屏上的数字校正表, 之间休息 2 h。记录阅读速度、阅读效率及阅读正确率, 记录每次阅读前后的视力 (最小分辨角的对数)、屈光度数、闪光融合频率 (CFF)、视疲劳评分、立体式锐度等的变化值。定量资料的比较采用配对 *t* 检验。**结果** 受试者阅读印刷品的阅读速度、阅读正确率、阅读效率分别为 (41.2±11.6) 组/min、80.7%±13.3% 和 (32.4±7.4) 组/min, 阅读远像光屏的阅读速度、阅读正确率、阅读效率分别为 (41.7±11.1) 组/min、76.4%±12.6% 和 (31.1±6.4) 组/min, 阅读速度 (*t*=−0.462, *P*=0.648) 和阅读效率 (*t*=1.954, *P*=0.058) 的差异无统计学意义, 阅读正确率的差异有统计学意义 (*t*=2.226, *P*=0.032)。受试者在阅读印刷品后右眼和左眼视力分别下降 0.014±0.032、0.013±0.050, 而阅读远像光屏后分别提高 0.007±0.033、0.007±0.036, 差异均有统计学意义 (右眼 *t*=2.592, *P*=0.013; 左眼 *t*=2.154, *P*=0.038)。阅读印刷品后右眼、左眼近视度数分别增加 (0.07±0.29) 和 (0.06±0.24) D, 阅读远像光屏后则分别增加 (0.01±0.29) 和 (0.02±0.28) D; 阅读印刷品后 CFF 降低 (0.1±1.0) Hz, 阅读远像光屏后增加 (0.3±1.2) Hz; 阅读印刷品和远像光屏后视疲劳主观量表评分均增加; 但两者比较差异均无统计学意义 (均 *P*>0.05)。**结论** 使用远像光屏进行阅读不影响阅读效率或额外增加视疲劳的程度, 能够避免近距离阅读印刷品引起的视力的下降。

【关键词】 近视; 阅读; 视敏度; 远像光屏**基金项目:** 北京市科技计划 (Z201100005520042)**临床试验注册:** 中国临床试验注册中心, ChiCTR2100047059

The clinical value of using a distant-image screen for reading and learning

Zhen Yi¹, Zhang Wei¹, Shen Jing¹, Cheng Dewen², Shen Wenrui², Wang Ningli¹¹ Beijing Tongren Eye Center, Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, Beijing Institute of Ophthalmology, Beijing Key Laboratory of Ophthalmology & Visual Sciences, Beijing 100730, China;² School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

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

【Abstract】 Objective To investigate the effect and comfort of using a distant-image screen for reading and learning. **Methods** It was a prospective cross-over study. Thirty-nine volunteers, including 13 males and 26 females, aged (26.4±4.5) years (20 to 37 years), were recruited from Beijing Tongren Hospital Affiliated to Capital Medical University in July 2021. The volunteers read the digital correction table printed on paper and displayed on a distant-image screen in a random order and rest in an interval of 2 hours. Reading speed, efficiency and accuracy of

DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20220106-00004

收稿日期 2022-01-06 本文编辑 郭维涛

引用本文: 甄毅, 张伟, 申婧, 等. 使用远像光屏进行阅读学习的临床价值[J]. 中华眼科杂志, 2022, 58(12): 1045-1050. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20220106-00004.

中华医学杂志社
Chinese Medical Association Publishing House

版权所有 侵权必究



using the two devices were recorded, and the changes of logMAR vision, diopter, flicker fusion frequency and visual fatigue score after reading were calculated. Comparison of the quantitative data was performed using the paired *t*-test. **Results** The speed, accuracy and efficiency were (41.2 ± 11.6) digit groups/min, $80.7\% \pm 13.3\%$ and (32.4 ± 7.4) digit groups/min in reading on paper, (41.7 ± 11.1) digit groups/min, $76.4\% \pm 12.6\%$ and (31.1 ± 6.4) digit groups/min in reading from screen, respectively. There was no significant difference in reading speed ($t = -0.462$, $P = 0.648$) and reading efficiency ($t = 1.954$, $P = 0.058$), but there was significant difference in reading accuracy ($t = 2.226$, $P = 0.032$). The logMAR visual acuity of right eye and left eye decreased by 0.014 ± 0.032 and 0.013 ± 0.050 after reading on paper, but increased by 0.007 ± 0.033 and 0.007 ± 0.036 after reading from screen, respectively. The difference was significant (right eye, $t = 2.592$, $P = 0.013$; left eye, $t = 2.154$, $P = 0.038$). The myopia degree of right eye and left eye increased by (0.07 ± 0.29) D and (0.06 ± 0.24) D after reading on paper, and increased by (0.01 ± 0.29) D and (0.02 ± 0.28) D after reading from screen, respectively. The flicker fusion frequency decreased by (0.1 ± 1.0) Hz after reading on paper, but increased by (0.3 ± 1.2) Hz after reading from screen. There was no significant difference ($P > 0.05$). The subjective scale score of visual fatigue increased in both groups, with no statistically significant difference ($t = 1.165$, $P = 0.251$). **Conclusion** The use of a distant-image screen for reading and learning does not affect the reading efficiency or increase the visual fatigue, and can avoid the decline of visual acuity caused by near viewing compared with using the printed matter.

【Key words】 Myopia; Reading; Visual Acuity; Distant-image screen

Fund program: the Beijing Advanced Innovation Center for Big Data-Based Precision Medicine and Beijing Municipal Science and Technology Project (Z201100005520042)

Trial registration: Chinese Clinical Trial Registry, ChiCTR2100047059

流行病学调查结果显示,近20年来30岁以下的人群中近视眼的发病率逐年上升,我国青少年近视眼的发生率已达到90%,并受到各界广泛关注^[1-2]。近视眼的发生原因包括基因和环境等因素,其中长时间近距离工作是其重要的环境因素之一。可能的机制包括近距离工作时调节负荷、视网膜周边远视性离焦的增加,数小时的近距离工作可以引起近视度数加深、眼轴增长、脉络膜变薄、调节功能降低等一系列改变^[1,3]。远像光屏基于共轴折反自由曲面光学方案,可以在30 cm的距离上投射出3 m以上成像距离的虚像,从而使观看者的眼部调节处于放松状态,避免诱发近视的环境因素。本研究拟通过比较使用印刷品和远像光屏进行阅读后阅读效率和视疲劳相关参数的差别,探讨使用远像光屏是否可用于阅读学习以及在预防近视方面是否有潜在应用价值。

资料和方法

一、一般资料

前瞻性交叉试验。于2021年7月通过首都医科大学附属北京同仁医院招募的成人受试者39人,男性16人,女性23人,年龄 (26.4 ± 4.5) 岁。其中近视眼23人,等效球镜度数 (-2.98 ± 0.79) D;正视眼16名,等效球镜度数 (-0.34 ± 0.22) D。所有受

试者采用随机数字表法决定先用印刷品阅读(20人)还是先用远像光屏阅读(19人),两次阅读之间休息2 h。

纳入标准:(1)年龄18~35岁;(2)矫正视力 ≥ 1.0 ;(3)等效球镜度数 $-8.00 \sim +0.50$ D,且近2年变化绝对值 ≤ 0.25 D;(4)散光度数 < 0.75 D;(5)双眼屈光度数差值 < 0.50 D。排除标准:(1)调节功能异常;(2)眼部器质性病变;(3)眼位及眼球运动异常。

本研究流程符合《赫尔辛基宣言》和我国现行法律法规的要求,试验方案获得首都医科大学附属北京同仁医院医学伦理委员会的批准(TRECKY2021-045)。所有受试者知情同意。

二、远像光屏的成像原理

远像光屏的成像原理基于共轴折反自由曲面光学方案,可把近距离实像延伸成远距离虚像,以改善调节(图1)。该系统的图像源为5.5英寸液晶显示屏(分辨率为 $2\,560 \times 1\,440$),发出的光线由半透半反平面分光镜的反射至全反射自由曲面凹面镜,之后透过半透半反平面分光镜入眼,在30 cm的实际观看距离上能够呈现一个5 m距离60英寸(对角线距离)的虚像,其对角线视角约 30° 。

三、试验过程及观察项目

试验环境为室内,光照强度为300 lux,且除远像光屏外均为漫反射材质的物体以避免对受试者调节反应造成干扰。屈光不正者需佩戴眼镜进行



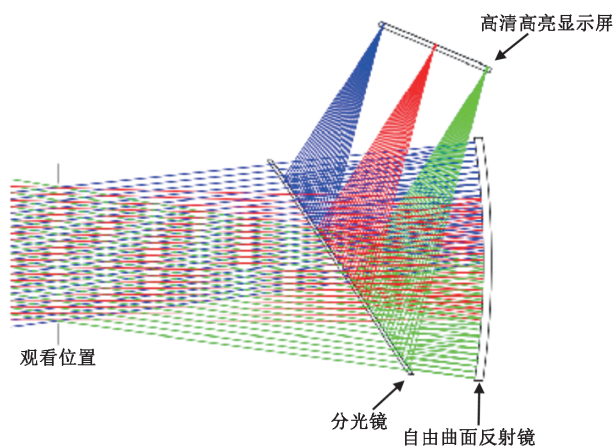


图1 远像光屏光学原理示意

试验。受试者先于暗环境 5 min 去除之前近距离用眼的影响,之后于 300 lux 下双眼注视 5 m 处的早期治疗糖尿病视网膜病变研究 (early treatment diabetic retinopathy study, ETDRS) 视力表 (美国 Lighthouse International 公司) 0.6 的视标,采用红外自动验光仪 (WV5500 型,日本 Grand Seiko 公司) 采集 10 s 屈光数据,计算平均等效球镜度数作为阅读前 (基线) 的屈光度数。

采用闪光融合频率 (critical flicker-fusion frequency, CFF) 计 (BD-II-11 8 型,常州德杜精密仪器) 和 Likert 主观评价量表 2 种方法评价受试者视疲劳情况。CFF 为闪烁光源能够引起闪光融合的最小频率,可以对视疲劳程度进行定量。CFF 计参数设定:红色光、全黑背景、3:1 亮点闪烁亮黑比、1/8 亮点光强度。Likert 主观评价量表包括 12 项常见视疲劳症状:眼酸、眼胀、沉重感、眼干涩、异物感、流泪、畏光、模糊、重影、文字跳动或串行、头痛、眩晕,受试者对各项进行 1~7 的评分。

双眼视功能检查采用同视机 (YZ23B 型,苏州六六视觉科技股份有限公司) 检查受试者的 3 级视功能,包括是否有 I 级功能 (同时视)、II 级功能 (融合视) 的融合范围和 III 级功能 (远立体视) 可辨认的图片弧秒数。近立体视锐度检查采用 Titmus 立体图 (美国 Stereo Optical 公司),结果转化为以 10 为底的对数,数值越小表示立体视越好。

受试者阅读前进行视力 (最小分辨角的对数)、屈光度数、主观视疲劳评分、融合范围、立体式锐度。

之后按照其随机数先后阅读印刷在 A4 幅面纸张上 (Times New Roman 字体, 12 磅) 或显示在远像光屏上 (成像距离 3 m, 分辨率 2 560×1 440) 的数字校正表 40 min, 中间休息 2 h。数字校正表 (图 2) 每行有 4 组数字, 每组数字由 2 个 5 位数字组成, 受试者需判断每组中 2 个数字是否相同, 将每分钟浏览的总数字组数作为其阅读速度, 找到的不同数字组数与实际不同数字总组数之比为正确率, 阅读效率为阅读速度与正确率的积。每次阅读后均使用相同的方法进行相关项目的检查。

四、统计学分析方法

本研究采用 SPSS 26.0 统计学软件对数据进行处理。服从正态分布的定量数据 $\bar{x} \pm s$ 表示, 阅读印刷品和远像光屏后的各参数比较采用配对 t 检验。假设检验均采用双侧检验, 以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、受试者基本情况比较

如表 1 所示, 39 名志愿者在使用远像屏和印刷品阅读前的基线视力、屈光度数、主观视疲劳评分、融合范围、立体式锐度的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 阅读远像光屏后的 CFF 低于印刷品阅读后 ($P < 0.05$)。所有受试者均有同时视。

39 名志愿者中, 先阅读远像光屏的 19 人在远像光屏阅读前和完成阅读并休息 2 h 后的 CFF 值分别为 (32.8 ± 1.6) 和 (33.9 ± 1.6) Hz, 差异有统计学意义 ($t = 3.223, P = 0.005$); 另外先阅读印刷品的 20 人在印刷品阅读前和完成阅读并休息 2 h 后的 CFF 分别为 (33.8 ± 2.9) 和 (33.8 ± 2.2) Hz, 差异无统计学意义 ($t = 0.181, P = 0.858$)。

二、阅读效率相关参数的比较

阅读印刷品和远像光屏的速度、正确率和效率

1	38296	38295	27177	27177	33192	33192	44694	44694
2	17504	17504	49995	49995	49849	49849	70919	70914
3	22344	22344	61114	61114	88214	88214	41578	41578
4	16126	16126	84300	84200	70890	70860	18347	18347
5	23076	23076	57670	57670	38055	38055	23406	23406
6	27904	27904	34347	34347	81572	81572	74663	74663

图2 数字校正表示意

表 1 39 名受试者阅读印刷品和远像光屏后视功能参数及阅读指标比较($\bar{x} \pm s$)

阅读方式	人数	视力(logMAR)		屈光度数(D)		闪光融合频率(Hz)	主观视疲劳评分(分)
		右眼	左眼	右眼	左眼		
印刷品	39	-0.043±0.075	-0.051±0.074	-0.72±0.43	-0.53±0.37	33.9±2.3	0.7±1.4
远像光屏	39	-0.039±0.066	-0.052±0.068	-0.74±0.42	-0.48±0.50	33.3±2.0	0.8±1.4
t 值		-0.717	0.105	0.298	-0.764	2.274	-0.247
P 值		0.478	0.917	0.767	0.449	0.029	0.806

阅读方式	人数	融合范围(三棱镜度)	远立体视锐度	近立体视锐度	阅读指标		
					阅读速度(组/min)	阅读正确率(%)	阅读效率(组/min)
印刷品	39	15.7±2.7	1.83±0.11	1.85±0.11	41.2±11.6	80.7±13.3	32.4±7.4
远像光屏	39	15.9±2.6	1.86±0.12	1.88±0.13	41.7±11.1	76.4±12.6	31.1±6.4
t 值		-1.433	-1.000	-1.356	-0.462	2.226	1.954
P 值		0.160	0.324	0.183	0.648	0.032	0.058

注:logMAR 示最小分辨角的对数,立体视锐度为 Titmus 立体图检查结果转化为以 10 为底的对数

见表 1。阅读远像光屏的正确率低于印刷品,但阅读效率差异无统计学意义。

三、视疲劳相关参数的比较

阅读远像光屏后的双眼视力好于阅读印刷品后,差异有统计学意义。阅读后 CFF、双眼屈光度数和主观视疲劳评分的差异均无统计学意义(表 2)。

四、双眼视功能相关参数的变化

阅读后所有受试者依然拥有同时视。表 2 为阅读后双眼视功能参数,两种阅读方式的差异依旧无统计学意义。阅读前后视力、屈光度数、融合频率、主观视疲劳评分的变化情况见表 3,其中双眼视力变化差异有统计学意义,阅读远像光屏后视力未出现下降。

讨 论

我国近视率由 40 年前的 20%~30% 增长到现

今的 70%~80%,且研究表明近视程度与教育普及程度和学习压力成正相关^[4-7],但社会实际情况使我们很将减少学习时间作为防控近视眼的方法。荟萃分析的结果显示,近距离视物的相关工作和近视眼间存在关联,近距离视物持续的时间和视物距离其重要影响因素^[8-9]。目前教育系统推广的增加远距离活动,降低近距离课业负担的近视防控方案就是基于上述研究结果,“20-20-20”护眼法则强调连续看近时间不超过 20 min 也是基于同样的考虑。

在过去的 20 年里,计算机、智能手机等需要近距离使用的电子产品已成为日常生活的一部分,在许多国家这些产品已经融入日常的教学工作,其在增加了近距离视物时间的同时,还会减少户外活动等远眺时间,降低这些电子产品的使用时间可以降低患近视眼的风险^[10]。目前关于使用电子产品与阅读书籍相比,是否会额外增加近视眼风险,尚无明确证据。20 世纪 60 年代出生的东南亚儿童的近

表 2 39 名受试者阅读印刷品和远像光屏后视疲劳和双眼视功能参数比较($\bar{x} \pm s$)

阅读方式	人数	视力(logMAR)		屈光度数(D)		闪光融合频率(Hz)	主观视疲劳评分(分)	融合范围	远立体视锐度	近立体视锐度
		右眼	左眼	右眼	左眼					
印刷品	39	-0.030±0.077	-0.039±0.066	-0.79±0.44	-0.58±0.43	33.5±2.2	3.1±2.9	15.6±2.7	1.87±0.12	1.87±0.11
远像光屏	39	-0.046±0.078	-0.059±0.073	-0.74±0.40	-0.50±0.51	33.6±1.9	2.6±2.9	15.8±2.6	1.86±0.12	1.87±0.12
t 值		2.543	2.508	-1.275	-1.378	-0.152	1.068	-1.598	0.572	0.896
P 值		0.015	0.017	0.210	0.176	0.880	0.292	0.160	0.570	0.376

注:logMAR 示最小分辨角的对数,立体视锐度为 Titmus 立体图检查结果转化为以 10 为底的对数

表 3 39 名受试者阅读印刷品和远像光屏前后视疲劳指标变化的比较($\bar{x} \pm s$)

阅读方式	人数	视力变化(logMAR)		屈光度数变化(D)		闪光融合频率变化(Hz)	主观视疲劳评分变化(分)
		右眼	左眼	右眼	左眼		
印刷品	39	0.014±0.032	0.013±0.050	-0.07±0.29	-0.06±0.24	-0.1±1.0	2.4±2.8
远像光屏	39	-0.007±0.033	-0.007±0.036	-0.01±0.29	-0.02±0.28	0.3±1.2	1.8±2.5
t 值		2.592	2.154	-1.010	-0.684	-1.679	1.165
P 值		0.013	0.038	0.319	0.498	0.101	0.251

注:logMAR 示最小分辨角的对数,立体视锐度为 Titmus 立体图检查结果转化为以 10 为底的对数



视率已经很高^[11],但那时电子产品尚未普及。来自我国台湾的数据表明,近 20 年伴随电子产品普及而增加的近视率可以通过增加户外活动降低^[12]。来自我国香港的数据表明,6~8 岁儿童近视眼患病率在电子产品逐渐普及的 20 年中反而略有下降^[13]。鉴于以上研究结果,我们应该把使用电子产品与阅读书籍视为类似的近距离视物工作,在总体近距离用眼时间上进行控制,增加远距离用眼时间,而不应仅仅强调控制电子产品使用时间。

受限于人眼视物的最小分辨视角,阅读距离越远,就需要越大的文字。因此不论是使用印刷品还是电子产品进行阅读,均无法实现增加阅读距离的同时不增加阅读区域面积,例如使用大屏幕电视或投影仪进行阅读虽然有益于预防近视,但需要额外的阅读空间,对环境光照条件也有额外要求。笔者团队研发的远像光屏采用共轴折反自由曲面光学方案,通过反射发散光路将近处的实像变为远处的虚像,将成像等同于 3 m 处 63 英寸或 5 m 处 105 英寸的显示效果,实现了在增加阅读时成像距离的同时不增加阅读区域面积的需求。且显示光路封闭在暗箱中,更易于在学校和家庭的环境中使用,避免环境光照条件的干扰。

本研究发现,与印刷品相比,使用远像光屏阅读后受试者视力未出现下降,反而出现了上升趋势,这可能与受试者进行试验前存在视疲劳状态有关。远像光屏由于成像距离超过 3 m,观看过程相当于看远,睫状肌放松,从而缓解了视疲劳,提高了视力。笔者另一项研究已经证实使用远像光屏观看视频教学内容较平板电脑可以显著降低眼部的调节需求、调节滞后量和近距离工作诱导的一过性近视^[14]。在开放验光仪上实时测量近距离用时屈光度数变化的研究结果显示,使用平板电脑观看 10 min 视频后近视度数平均增加(0.19±0.30)D,停止观看后 20 s 增加量降低到 0.10 D 左右;使用远像光屏分别为(0.03±0.20)D 和 0.00 D 左右,差异均有统计学意义。本研究从停止阅读到完成屈光度数的测量耗时约 20 s,未能观察到屈光度数变化的差异,可能因为低估了期间近视增加的幅度。

CFF 是评价视疲劳的常用指标,该值的下降标志着视网膜、视神经细胞功能的下降^[15]。Lin 等^[16]的研究发现,长时间使用电脑后 CFF 的下降与视疲劳症状(眼内或周围疼痛、感觉眼球沉重或眼痒)的增加相对应。本研究中受试者阅读印刷品前的 CFF 明显高于阅读远像光屏前,其可能的原因如

下:本研究采用交叉试验设计,有 19 名受试者先阅读远像屏并休息 2 h 后才阅读印刷品,其阅读远像屏前和阅读印刷品前的 CFF 分别为(32.8±1.6)和(33.9±1.6)Hz,两者差异有统计学意义($t=3.223$, $P=0.005$),说明未恢复至试验前的水平;而 20 名先阅读印刷品并休息 2 h 才阅读远像光屏的受试者,这 2 个 CFF 则分别为(33.8±2.9)和(33.8±2.2)Hz,差异并无统计学意义($t=0.181$, $P=0.858$),说明已恢复至试验前的水平;提示远像屏提高 CFF 的效果可能较为持久。该结果削弱了交叉试验设计平衡偏倚的作用,最终造成阅读印刷品前的 CFF 明显高于阅读远像光屏前。这一情况提示我们,经过远像屏降低的视疲劳水平需要更长的时间才能再次升高,需要增加交叉试验中的休息时间。在阅读后,远像光屏提高了 CFF,印刷品降低了 CFF,从而使两者在阅读前的差异变得不明显。

Zhao 等^[17]提出可以用虚拟现实(virtual reality, VR)技术来预防近视眼的发生。首先,VR 技术可以通过独立控制视野中央和周边图像的焦点位置,依据周边离焦理论干预近视眼的发生;其次,VR 技术还可以通过模拟户外光照的强度和光谱。但现有的 VR 显示器存在一些不足,可能会影响其近视眼控制效果。首先,目前大多数 VR 显示器分辨率较低,可能形成形觉剥夺加速近视眼的发生和发展;其次,头戴式 VR 显示器与传统显示器相比可能更容易引起视疲劳,这与其增加了头颈部肌肉的负荷有关^[18-19]。针对上述问题,本研究所采用的远像光屏有如下改进:(1)设备使用的 5.5 英寸“2K”屏幕的像素密度为 538 像素/英寸,从而保证经过投远放大后文字图像的清晰度依然符合《儿童青少年学习用品近视防控卫生要求》(GB 40070—2021)中对教材印刷质量的要求。(2)中央 30°以外的视野采用黑箱设计,避免周边远视性离焦图像的产生。(3)台式设计可以避免长期佩戴对头颈部肌肉疲劳度的影响。本研究结果表明,受试者 2 种设备方式的阅读效率没有明显差别,阅读后的视疲劳及双眼视功能参数的改变也未见明显差异,说明使用远像光屏进行阅读与使用印刷品相比并不会引起额外的视疲劳。本研究的局限性在于纳入的均为成年受试者,下一步将在学校环境下观察儿童青少年长期使用远像光屏进行学习是否具有延缓近视眼发生、发展的作用。

综上所述,本研究通过比较阅读前后主客观参数的改变,证明了使用远像光屏进行阅读与使用印

刷品具有相同的阅读速度和效率,不会增加额外的视疲劳,且阅读后视力下降程度低。远像光屏可用于阅读学习,在预防近视眼发生、发展方面有潜在应用价值。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 甄毅、申婧:试验操作、论文撰写;张伟、沈文睿:数据整理、统计学分析;程德文、王宁利:研究指导、论文修改、经费支持

参 考 文 献

- [1] Wang J, Li Y, Musch DC, et al. Progression of myopia in school-aged children after COVID-19 home confinement [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2021, 139(3): 293-300. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2020.6239.
- [2] Wong CW, Tsai A, Jonas JB, et al. Digital screen time during the COVID-19 pandemic: risk for a further myopia boom? [J]. *Am J Ophthalmol*, 2021, 223: 333-337. DOI: 10.1016/j.ajo.2020.07.034.
- [3] Gebru EA, Mekonnen KA. Prevalence and factors associated with myopia among high school students in Hawassa City, South Ethiopia, 2019[J]. *Clin Optom (Auckl)*, 2022, 14:35-43. DOI: 10.2147/OPTO.S308617.
- [4] Morgan IG, French AN, Ashby RS, et al. The epidemics of myopia: aetiology and prevention[J]. *Prog Retin Eye Res*, 2018, 62: 134-149. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2017.09.004.
- [5] Sensaki S, Sabanayagam C, Verkicharla PK, et al. An ecologic study of trends in the prevalence of myopia in Chinese adults in Singapore born from the 1920s to 1980s [J]. *Ann Acad Med Singap*, 2017, 46(6):229-236.
- [6] Tsai TH, Liu YL, Ma IH, et al. Evolution of the prevalence of myopia among Taiwanese schoolchildren: a review of survey data from 1983 through 2017[J]. *Ophthalmology*, 2021, 128(2):290-301. DOI: 10.1016/j.ophtha.2020.07.017.
- [7] Plotnikov D, Williams C, Atan D, et al. Effect of education on myopia: evidence from the United Kingdom ROSLA 1972 reform[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020, 61(11): 7. DOI: 10.1167/iovs.61.11.7.
- [8] Huang HM, Chang DS, Wu PC. The association between near work activities and myopia in children: a systematic review and meta-analysis[J]. *PLoS One*, 2015, 10(10): e0140419. DOI: 10.1371/journal.pone.0140419.
- [9] Ip JM, Saw SM, Rose KA, et al. Role of near work in myopia: findings in a sample of Australian school children [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2008, 49(7): 2903-2910. DOI: 10.1167/iovs.07-0804.
- [10] Dirani M, Crowston JG, Wong TY. From reading books to increased smart device screen time[J]. *Br J Ophthalmol*, 2019, 103(1): 1-2. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2018-313295.
- [11] Morgan IG, Wu PC, Ostrin LA, et al. IMI risk factors for myopia[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2021, 62(5):3. DOI: 10.1167/iovs.62.5.3.
- [12] Wu PC, Chen CT, Chang LC, et al. Increased time outdoors is followed by reversal of the long-term trend to reduced visual acuity in taiwan primary school students[J]. *Ophthalmology*, 2020, 127(11):1462-1469. DOI: 10.1016/j.ophtha.2020.01.054.
- [13] Yam JC, Tang SM, Kam KW, et al. High prevalence of myopia in children and their parents in Hong Kong Chinese population: the Hong Kong Children Eye Study[J]. *Acta Ophthalmol*, 2020, DOI: 10.1111/aos.14350.
- [14] 甄毅, 高杰, 张伟, 等. 台式虚拟现实显示器对数字眼疲劳预防作用的初步研究[J]. *眼科*, 2022, 31(3):225-230. DOI: 10.13281/j.cnki.issn.1004-4469.2022.03.011.
- [15] Luczak A, Sobolewski A. Longitudinal changes in critical flicker fusion frequency: an indicator of human workload [J]. *Ergonomics*, 2005, 48(15):1770-1792. DOI: 10.1080/00140130500241753.
- [16] Lin JB, Gerratt BW, Bassi CJ, et al. Short-wavelength light-blocking eyeglasses attenuate symptoms of eye fatigue[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2017, 58(1): 442-447. DOI: 10.1167/iovs.16-20663.
- [17] Zhao F, Chen L, Ma H, et al. Virtual reality: a possible approach to myopia prevention and control? [J]. *Med Hypotheses*, 2018, 121: 1-3. DOI: 10.1016/j.mehy.2018.09.021.
- [18] Kim E, Shin G. User discomfort while using a virtual reality headset as a personal viewing system for text-intensive office tasks[J]. *Ergonomics*, 2021, 64(7): 891-899. DOI: 10.1080/00140139.2020.1869320.
- [19] Dimitrios S, Ancret S, Brandon B, et al. Factors associated with virtual reality sickness in head-mounted displays: a systematic review and meta-analysis[J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2020, 14

