

智能可穿戴设备定量分析近视相关环境因素的准确性和稳定性

吴紫云¹ 霍环环¹ 刘艺² 王兴荣² 胡媛媛² 毕宏生²

¹山东中医药大学眼科与视光医学院, 济南 250014; ²山东中医药大学附属眼科医院, 济南 250002

通信作者: 毕宏生, Email: hongshengbi@126.com; 胡媛媛, Email: yyhu0616@163.com

【摘要】 目的 评价智能可穿戴设备 Eye-Monitor 客观量化近视相关环境因素的准确性和稳定性。方法 采用诊断试验研究设计, 2021 年 12 月于山东中医药大学招募 42 名受试者, 年龄 18~25 岁。采用简单随机抽样方法从 80 台设备中抽取 42 台智能可穿戴设备, 对近视相关环境危险因素进行静态和动态试验, 其中静态试验包括用眼距离、坐姿头部倾斜角和光照强度测量, 动态试验包括近距离工作时长、户外活动时长和看电子设备时长测量。选取总相对误差绝对值之和最大的设备, 采用 Spearman 秩相关分析评价设定值与 Eye-Monitor 测量值的相关性; 采用 Bland-Altman 一致性分析评价其客观监测值的准确性。通过变异系数评价各个设备客观监测值的稳定性。结果 用眼距离、坐姿头部倾斜角、室内光照强度、近距离工作总时长、平均持续近距离用眼时长、户外活动时长、看计算机屏幕时长和看手机时长测量值与设定值之间均呈强正相关 ($r_s = 0.999, 0.998, 0.999, 0.998, 0.976, 0.959, 0.992, 0.997$, 均 $P < 0.001$), 95% 一致性界限 (LoA) 分别为 $-1.23 \sim 2.32$ cm、 $-1.49 \sim 4.24^\circ$ 、 $-13.90 \sim 26.90$ lx、 $-6.46 \sim 0.11$ min、 $-4.50 \sim 1.20$ min、 $-4.01 \sim 1.34$ min、 $-2.54 \sim 1.94$ min 和 $-2.15 \sim 0.45$ min, 超过 95% 的点在 LoA 内, 准确性临床可接受。测量值变异系数分别为 1.23%~2.99%、2.39%~8.25%、0.87%~8.03%、1.49%~12.52%、6.63%~13.59%、0.00%~14.15%、1.20%~8.33% 和 1.49%~12.51%, 稳定性均较好。Eye-Monitor 在测量户外光照强度的 95% LoA 为 $-336.50 \sim 130.00$ lx, 95% 的点在 LoA 内, 准确性较好。结论 智能可穿戴设备能够客观量化用眼距离、坐姿头部倾斜角、室内光照强度、近距离工作总时长、平均持续近距离用眼时长、户外活动时长、看计算机屏幕时长和看手机时长, 并具有较好的准确性和稳定性。

【关键词】 近视; 环境暴露; 可穿戴电子设备; 用眼距离; 户外活动; 准确性; 稳定性

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2019YFC1710200); 山东省中西医结合专病防治项目 (YXH2019ZXY001); 山东省医药卫生发展计划项目 (202107020948)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20230209-00042

Accuracy and stability of a smart wearable device for quantitative analysis of environmental risks related to myopia

Wu Ziyun¹, Huo Huanhuan¹, Liu Yi², Wang Xingrong², Hu Yuanyuan², Bi Hongsheng²

¹Ophthalmology and Optometry Medical School, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250014, China; ²Affiliated Eye Hospital of Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250002, China

Corresponding authors: Bi Hongsheng, Email: hongshengbi@126.com; Hu Yuanyuan, Email: yyhu0616@163.com

【Abstract】 **Objective** To evaluate the accuracy and stability of Eye-Monitor, a smart wearable device, in quantifying environmental risks related to myopia. **Methods** A diagnostic test study was conducted. Forty-two subjects aged 18–25 years old were recruited from Shandong University of Traditional Chinese Medicine in December 2021. Forty-two Eye-Monitors were selected from 80 devices using the simple random sampling method. Static and dynamic tests were carried out to compare environmental risks related to myopia. The static tests included measurements under different working distances, different head tilt angles when sitting, and different light intensities. The dynamic tests included measurements under different near-work time, different outdoor activity time, different time watching computers, and different phone viewing time. Eye-Monitor with the largest sum of absolute values of total relative error was selected, Spearman rank correlation analysis was used to analyze the correlation between the set values and Eye-Monitor measurements, and the accuracy of the objectively measured values was evaluated by Bland-Altman consistency analysis. The stability of the objectively measured values from Eye-Monitor was evaluated by the

coefficient of variation. This study adhered to the Declaration of Helsinki. The study protocol was approved by the Ethics Committee of the Affiliated Eye Hospital of Shandong University of Traditional Chinese Medicine (No. HEC-KS-2021005KY). Written informed consent was obtained from each subject. **Results** There were significant correlations between the measured values and setting values in the working distance, head tilt angle when sitting, indoor light intensity, total near-work time, average continuous near-work time, outdoor activity time, time watching computers, and time viewing phones ($r_s = 0.999, 0.998, 0.999, 0.998, 0.976, 0.959, 0.992, 0.997$; all at $P < 0.001$), with the 95% limits of agreement (LoA) of $-1.23-2.32$ cm, $-1.49-4.24^\circ$, $-13.90-26.90$ lx, $-6.46-0.11$ minutes, $-4.50-1.20$ minutes, $-4.01-1.34$ minutes, $-2.54-1.94$ minutes and $-2.15-0.45$ minutes, respectively. More than 95% of dots were within the clinically acceptable LoA. The coefficients of variation of the measured values ranged from 1.23%-2.99%, 2.39%-8.25%, 0.87%-8.03%, 1.49%-12.52%, 6.63%-13.59%, 0.00%-14.15%, 1.20%-8.33 and 1.49%-12.51%, respectively, showing good stability. Eye-Monitor had good accuracy in measuring outdoor light intensity (95% LoA: $-336.50-130.00$ lx). **Conclusions** The smart wearable device Eye-Monitor can be used to objectively monitor working distance, head tilt angle when sitting, indoor light intensity, total near-work time, average continuous near-work time, outdoor activity time, time watching computers, and time watching phones, which are with good accuracy and stability.

[Key words] Myopia; Environmental exposure; Wearable electronic devices; Working distance; Outdoor activity; Accuracy; Stability

Fund program: National Key Research and Development Program (2019YFC1710200); Specific Diseases Prevention and Control (Integration of Chinese and Western Medicine) of Shandong (YXH2019ZXY001); Shandong Provincial Medicine and Health Science and Development Project (202107020948)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20230209-00042

儿童青少年近视的发生和发展是遗传和环境多因素综合作用的结果^[1],仅遗传因素已不能解释儿童青少年近视高发以及进展快的特点,如果近视化过程中的某一环境因素能够被确定,则可针对该因素采取相应的干预措施来减缓近视的发生和发展。近距离工作和户外活动减少是目前已知近视主要的环境危险因素^[2]。许多其他环境相关危险因素,如电子设备的应用、光照强度降低等也与近视发生和发展相关^[3]。然而,既往研究多采用传统调查问卷收集近视相关环境因素,不够客观且存在回忆偏倚。因此,明确相关环境因素对儿童青少年近视发生和发展的影响,可以为有针对性地制定干预方案提供依据。近年来,随着科技发展,Rangelife、云夹、Hobo、FitSight 等设备开始用于一些环境因素的评估^[4-7],但多局限于光照、用眼距离等,其他重要指标还需进一步监测以及量化。因此,本课题组研发一种智能可穿戴设备 Eye-Monitor,其能客观量化用眼距离、坐姿头部倾斜角、光照强度、近距离工作总时长、平均持续近距离用眼时长、户外活动时长、看计算机和手机屏幕时长等环境危险因素。本研究拟评价智能可穿戴设备用于近视相关环境因素定量分析的准确性和稳定性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用诊断试验研究设计,2021 年 12 月于山东中

医药大学招募 42 名大学生作为受试者。样本量确定依据美国临床和实验室标准协会 *Measurement procedure comparison and bias estimation using patient samples: Approves guideline-Third edition* 的要求,对 2 种测量程序方法比对及偏倚评估的最小样本量应为 40 例^[8]。采用简单随机抽样法从 80 台设备中抽取 42 台(编号 1~42)用眼行为监测矫正仪,对近视相关环境因素进行监测。受试者纳入标准:年龄 18~25 岁;最佳矫正视力 ≥ 1.0 ;双眼散光度数 ≤ 2.50 D,屈光参差 ≤ 1.50 D。排除标准:存在其他影响双眼视力和头部倾斜的器质性病变者;依从性差及沟通有障碍者。本研究严格遵循《赫尔辛基宣言》,研究方案经山东中医药大学附属眼科医院伦理委员会批准(批文号:HEC-KS-2021005KY),受试者均对本研究知情并自愿签署知情同意书。

用眼行为监测矫正仪(Eye-Monitor 仪,中国国家强制性产品认证:2021230805000936;CE 认证:MICEZ-2003-0230-LVD, MICEZ-2003-0230-EMC; RoHS: No. 3N200302. BD70S68)为一种智能可穿戴设备,其基于人工智能的计算机视觉技术,自动识别纸质阅读、看手机、看计算机屏幕等近距离用眼状态和是否为户外状态,监测数据客户端处理后上传至云端后台,亦可通过手机客户端查看实时数据。该仪器左侧主机内装置组合传感器环境识别系统(图 1):(1)红外测距传感器和人工智能用眼状态识别 可监测用眼距离,根据测





图 1 Eye-Monitor 功能模块示意图 A: 传感器分布图 B: Eye-Monitor 基本参数示意图
Figure 1 Function module diagram of Eye-Monitor A: Diagram of sensors distribution
B: Diagram of basic parameters of Eye-Monitor

量距离自动识别近距离工作状态(测量距离为 10~60 cm,包括阅读写作、玩宠物、下棋、玩手机、看计算机屏幕等近距离活动)^[9]、非近距离工作状态(测量距离>60 cm)以及遮挡状态(测量距离<10 cm);(2)陀螺仪传感器;(3)光照传感器(0~64 000 lx);(4)三轴加速度传感器(X、Y、Z 轴)用于判断仪器是否处于佩戴状态,若三轴加速度传感器在 40 s 内未检测到任何变化,则判断为无效状态。采用 Eye-Monitor 收集并记录以下参数:(1)用眼距离 近距离工作距离为 10~60 cm 时,眼到阅读平面的距离。通过红外测距传感器进行测量,仪器传感器位置与眼球的角膜顶点平齐,传感器到阅读面的距离无限接近角膜顶点到阅读面中心的距离,传感器正前方到阅读面的 16 个点平均值即为平均用眼距离,近距离工作状态时每 5 s 采集 1 次数据,取均值表示用眼距离;(2)坐姿头部倾斜角 近距离工作距离为 10~60 cm 时,头部向垂直方向偏离的角度。通过陀螺仪传感器进行测量,每 5 s 采集 1 次数据,可自动识别为向左或向右偏头;(3)光照强度 单位面积上所接受可见光的能量即光照强度。可通过光照传感器测量的光照强度进行初筛,对初筛的图片结合深度学习技术,训练和构建图像识别算法模型,对第 1 步筛选的图像进行识别,自动识别室内和户外,取光照传感器测量均值表示室内外光照强度;(4)近距离工作总时长 当红外测距传感器识别受试者用眼距离为 10~60 cm 时,其工作时长总和即为近距离工作总时长;(5)平均持续近距离用眼时长 平均持续近距离用眼时长=近距离工作总时长/近距离工作次数;(6)户外活动时长 根据光照传感器、红外测距传感器、深度学习技术、图像识别算法模型等综合评判的结果确定是否为户外,其时长总和即为户外活动时长;(7)看电子屏幕时长 图像识别算法模型所检测到的传感器正对电子屏幕的时长即看电子屏幕时长。

1.2 方法

1.2.1 静态试验 将 42 台设备放置于试验台上,并置于固定位置按设定值(又称金标准)依次测量以下指标:(1)用眼距离测量 分别在 15、20、25、30、35、40、45、50 cm 8 个距离处垂直放置纸质阅读材料,依次进行测量。以 Eye-Monitor 监测值为测量值,与其相应的 8 个设定值进行比较。(2)坐姿头部倾斜角测量 设置左偏 10°、20°、40°、60°以及右偏 10°、20°、40°、60°共 8 个倾斜角度,依次进行测量。以该设备监测

值为测量值,与相应的 8 个设定值进行比较。(3)光照强度测量 在完全封闭且黑暗的房间内以可调节 LED 灯箱(亨域 MT-820)提供入射光源,设置 60、100、150、200、250、300、400、600 lx 共 8 种光照强度,依次进行测量。另外,增加户外光照以反映仪器在户外强光下的表现,利用自然光提供入射光源,并同时以光强仪(宝工 MT-4617LED-C 照度计、testo-540 照度计)记录的光照强度作为金标准,以 Eye-Monitor 监测值为测量值,与其相应的 8 个设定值进行比较。

1.2.2 动态试验 42 名受试者佩戴 Eye-Monitor,并按研究人员指令于特定场景,如阅读纸质材料、看计算机屏幕或手机、户外活动等活动,测量以下指标:(1)近距离工作时长 受试者佩戴该设备,按指令阅读纸质材料 5 min 后,立即眺望远处 5 min,此为 1 次近距离工作;再次阅读 8 min 后,立即眺望远处 5 min,而后再次阅读 10 min。以该设备监测值为测量值,与相应的设定值进行比较。(2)户外活动时长 受试者佩戴该设备,根据指示于户外活动 5 min 后立即进入室内并持续 5 min,再次去户外 8 min 后立即进入室内 5 min,而后再去户外 10 min。以该设备监测值为户外活动时长的测量值,与相应的设定值进行比较。(3)看电子设备时长 将纸质阅读材料分别置换为计算机或手机,测量步骤同近距离工作时长测量。

1.2.3 评价指标 (1)准确性 采用 MedCalc 20.2 软件进行 Bland-Altman 一致性分析。计算每台 Eye-Monitor 在各条件下相对误差,相对误差=(Eye-Monitor 测量值-设定值)/设定值的绝对值之和,以此判断误差最大的仪器,继而对总相对误差最大的仪器采用 Bland-Altman 一致性分析评价不同设定值处测量的准确性,若超过 95% 的点在临床可接受一致性界限(limits of agreement, LoA)内,则具有较好的准确性。(2)稳定性 计算所有仪器测量值的变异系数并评价其稳定性,考虑临床意义及可接受的临床标准,设定变

异系数 $<15\%$ 为具有较好的稳定性。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 25.0 (IBM SPSS Statistics) 统计学软件进行统计分析。计量资料数据经 Kolmogorov-Smirnov 检验证实符合正态分布的数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 不符合正态分布的数据以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示。设定值与 Eye-Monitor 测量值的相关性采用 Spearman 秩相关分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 静态试验

2.1.1 用眼距离测量 用眼距离方面, 各设定值下 Eye-Monitor 检测值分布见表 1。30 号设备总相对误差绝对值之和最大, 且该设备测量值与设定值之间呈强正相关 ($r_s = 0.999, P < 0.001$), 平均误差为 0.54 cm , 95% 置信区间 (confidence interval, CI) 为 $-0.29 \sim 1.38 \text{ cm}$, 最大测量误差为 2.00 cm , 相对误差绝对值为 $1\% \sim 6\%$ (表 2)。Bland-Altman 一致性分析结果显示, 95% LoA 为 $-1.23 \sim 2.32 \text{ cm}$, 超过 95% 的点落在 LoA 以内 (图 2A), 表明 Eye-Monitor 测量用眼距离的准确性较好。不同用眼距离条件下各设备测量值的变异系数为 $1.23\% \sim 2.99\%$, 稳定性较好 (图 3A)。

表 1 Eye-Monitor 在用眼距离方面检测值数据分布
[$M(Q_1, Q_3)$, cm]

Table 1 Distribution of Eye-Monitor measured values under different working distances [$M(Q_1, Q_3)$, cm]

设定值	样本量	测量值
15 cm	42	15.50(15.08, 15.80)
20 cm	42	20.45(20.08, 20.60)
25 cm	42	25.20(24.90, 25.60)
30 cm	42	30.30(30.10, 30.60)
35 cm	42	35.25(34.80, 35.70)
40 cm	42	40.20(39.80, 40.43)
45 cm	42	45.40(44.88, 45.70)
50 cm	42	50.45(50.18, 50.80)

2.1.2 坐姿头部倾斜角测量 坐姿头部倾斜角方面, 各设定值下 Eye-Monitor 检测值分布见表 3。13 号设备总相对误差绝对值之和最大, 且该设备测量值与设定值之间呈强正相关 ($r_s = 0.998, P < 0.001$), 平均误差为 1.38° , 95% CI 为 $0.15 \sim 2.60^\circ$, 最大测量误差为 3.40° , 相对误差绝对值为 $0.5\% \sim 21.0\%$ (表 2)。Bland-Altman 一致性分析结果显示, 95% LoA 为 $-1.49 \sim 4.24^\circ$, 超过 95% 的点落在 LoA 以内 (图 2B), 表明 Eye-Monitor 测量坐姿头部倾斜角的准确性较好。不

同坐姿头部倾斜角条件下各 Eye-Monitor 测量值的变异系数为 $2.39\% \sim 8.25\%$, 稳定性较好 (图 3B)。

2.1.3 光照强度测量 室内光照强度方面, 各设定值下 Eye-Monitor 检测值分布见表 4。40 号设备总相对误差绝对值之和最大, 且该设备测量值与设定值之间呈强正相关 ($r_s = 0.999, P < 0.001$), 平均误差为 6.50 lx , 95% CI 为 $-2.20 \sim 15.20 \text{ lx}$, 最大测量误差为 25.0 lx , 相对误差绝对值为 $1\% \sim 25\%$ (表 2)。Bland-Altman 一致性分析结果显示, 95% LoA 为 $-13.90 \sim 26.90 \text{ lx}$ 。超过 95% 的点落在 LoA 以内 (图 2C), 表明 Eye-Monitor 测量室内光照强度的准确性较好。不同室内光照强度测量水平下各个仪器测量值的变异系数为 $0.87\% \sim 8.03\%$, 稳定性较好 (图 3C)。

户外光照强度方面, 14 号仪器总相对误差绝对值之和最大, 且该设备测量值与设定值之间呈强正相关 ($r_s = 0.959, P < 0.001$), 一致性分析结果显示平均误差为 -103.25 lx , 95% CI 为 $-202.74 \sim 3.78 \text{ lx}$, 最大测量误差为 297.00 lx , 相对误差绝对值为 $1\% \sim 10\%$ (表 3)。Bland-Altman 一致性分析结果显示, 95% LoA 为 $-336.50 \sim 130.00 \text{ lx}$, 超过 95% 的点落在 LoA 以内 (图 2D), 表明 Eye-Monitor 测量户外光照强度的准确性较好。

2.2 动态试验

2.2.1 近距离工作总时长测量 近距离工作总时长方面, 各设定值下 Eye-Monitor 检测值分布见表 5。35 号设备总相对误差绝对值之和最大, 且该设备测量值与设定值之间呈强正相关 ($r_s = 0.998, P < 0.001$), 平均误差为 -3.18 min , 95% CI 为 $-4.43 \sim 1.42 \text{ min}$, 最大测量误差绝对值为 5.24 min , 相对误差绝对值为 $12\% \sim 33\%$ (表 2)。Bland-Altman 一致性分析结果显示, 95% LoA 为 $-6.46 \sim 0.11 \text{ min}$, 超过 95% 的点落在 LoA 以内 (图 2E), 表明 Eye-Monitor 测量近距离工作总时长的准确性较好。不同近距离工作总时长条件下各 Eye-Monitor 测量值的变异系数为 $1.49\% \sim 12.52\%$, 稳定性较好 (图 3D)。

2.2.2 平均持续近距离用眼时长测量 平均持续近距离用眼时长方面, 各设定值下 Eye-Monitor 检测值分布见表 6。35 号设备总相对误差绝对值之和最大, 且该设备测量值与设定值之间呈强正相关 ($r_s = 0.976, P < 0.001$), 平均误差为 -1.75 min , 95% CI 为 $-3.33 \sim 0.17 \text{ min}$, 最大测量误差绝对值为 4.33 min , 相对误差绝对值为 $5\% \sim 42\%$ (表 2)。Bland-Altman 一致性分析结果显示, 95% LoA 为 $-4.50 \sim 1.20 \text{ min}$, 超过 95% 的点落在 LoA 以内 (图 2F), 表明 Eye-Monitor 测

表 2 各条件下 Eye-Monitor 测量值变异系数、测量值与设定值之间 Bland-Altman 一致性分析
Table 2 Bland-Altman analysis of coefficients of variation of Eye-Monitor measured values, Eye-Monitor measured values and working distances under different conditions

因素	测量值变异系数范围	总相对误差绝对值之和最大的仪器								
		设备编号	最大测量误差	相对误差绝对值范围	平均误差 ($\bar{x} \pm s$)	平均误差 95% CI	95% LoA 范围	LoA 以外点数	LoA 下限 95% CI	LoA 上限 95% CI
用眼距离 (cm)	1.23% - 2.99%	30	2.00	1% - 6%	0.54 ± 0.91	-0.29 - 1.38	-1.23 - 2.32	0	-2.74 - 0.28	0.81 - 3.82
坐姿头部倾斜角 (°)	2.39% - 8.25%	13	3.40	0% - 21%	1.38 ± 1.46	0.15 - 2.60	-1.49 - 4.24	0	2.06 - 6.42	-3.67 - 0.69
室内光照强度 (lx)	0.87% - 8.03%	40	25.00	1% - 25%	6.50 ± 10.41	-2.20 - 15.20	-13.90 - 26.90	0	-29.45 - 1.65	11.35 - 42.45
户外光照强度 (lx)	-	14	297.00	1% - 10%	-103.25 ± 119.01	-202.74 - 3.78	-336.50 - 130.00	0	-514.35 - 158.66	-47.84 - 307.85
近距离工作总时长 (min)	1.49% - 12.52%	35	5.24	12% - 33%	-3.18 ± 1.67	-4.93 - -1.42	-6.46 - 0.11	0	-9.65 - 3.26	-3.09 - 3.30
平均持续近距离用眼时长 (min)	6.63% - 13.59%	35	4.33	5% - 42%	-1.75 ± 2.40	-3.33 - -0.17	-4.50 - 1.20	0	-7.57 - -1.83	-1.67 - 4.07
户外活动时长 (min)	0.00% - 14.15%	02	3.00	8% - 25%	-1.33 ± 1.37	-2.78 - 0.10	-4.01 - 1.34	0	-6.62 - -1.40	-1.26 - -3.95
看手机时长 (min)	1.20% - 8.33%	23	2.00	3% - 25%	-0.30 ± 1.14	-1.50 - 0.90	-2.54 - 1.94	0	-4.72 - -0.36	-0.24 - -4.12
看计算机屏幕时长 (min)	1.49% - 12.51%	13	2.00	0% - 25%	-0.85 ± 0.67	-1.55 - -0.15	-2.15 - 0.45	0	-3.42 - -0.88	-0.82 - -1.72

注: CI: 置信区间; LoA: 一致性界限; -: 户外光源不稳定, 无法计算变异系数范围

Note: CI: confidence interval; LoA: limits of agreement; -: the range of variable coefficient was not calculated due to unstable outdoor light intensity

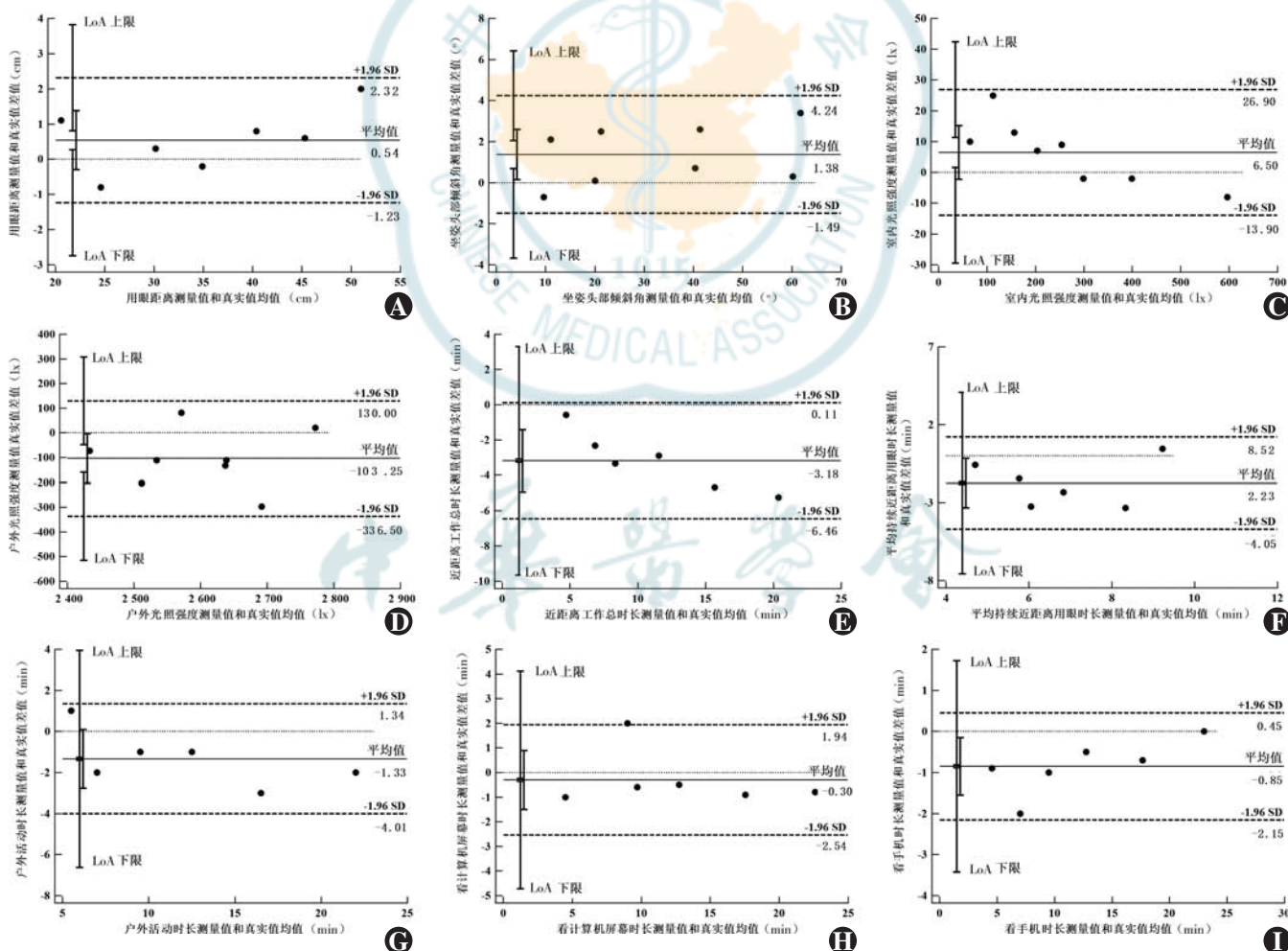


图 2 总相对误差最大的设备不同测量值与设定值的 Bland-Altman 一致性分析 A:用眼距离 B:坐姿头部倾斜角 C:室内光照强度 D:户外光照强度 E:近距离工作总时长 F:平均持续近距离用眼时长 G:户外活动时长 H:看计算机屏幕时长 I:看手机时长 LoA:一致性界限; SD:标准差

Figure 2 Bland-Altman plots for different measured values and working distances of each Eye-Monitor with the largest total relative errors A:working distance B:head tilt angle when sitting C:indoor light intensity D:outdoor light intensity E:total near-work time F:average continuous near-work time G:outdoor activity time H:time watching computers I:time watching mobile phones LoA:limits of agreement;SD:standard deviation

量平均持续近距离用眼时长的准确性较好。不同平均持续近距离用眼时长条件下各 Eye-Monitor 测量值的变异系数为 6.63%~13.59%，稳定性较好(图 3E)。

2.2.3 户外活动时长测量 户外活动时长方面,各设定值下 Eye-Monitor 检测值分布见表 7。02 号设备总相对误差绝对值之和最大,且该设备测量值与设定值之间呈强正相关($r_s = 0.959, P < 0.001$),平均误差为 -1.33 min ,95% CI 为 $-2.78 \sim 0.10 \text{ min}$,最大测量误差绝对值为 3 min ,相对误差绝对值为 $8\% \sim 25\%$ (表 2)。Bland-Altman 一致性分析结果显示 95% LoA 为 $-4.01 \sim 1.34 \text{ min}$ 。超过 95% 的点落在 LoA 以内(图 2G),表明 Eye-Monitor 测量户外活动时长的准确性较好。不同户外活动时长测量水平下各个仪器测量值的变异系数为 $0.00\% \sim 14.15\%$,稳定性较好(图 3F)。

2.2.4 看电子屏幕时长测量 看计算机屏幕时长以及看手机时长方面,各设定值下 Eye-Monitor 检测值分布见表 8,分别为 13 号、23 号设备总相对误差绝对值之和最大,13 号设备在看计算机屏幕、23 号设备在看手机时长方面仪器测量值与设定值间均呈强正相关($r_s = 0.992, 0.997$, 均 $P < 0.001$),平均误差分别为 -0.85 min 和 -0.30 min ,95% CI 分别为 $-1.55 \sim 0.15 \text{ min}$ 和 $-1.50 \sim 0.90 \text{ min}$,最大测量误差均为 2 min ,相对误差绝对值分别为 $0\% \sim 25\%$ 和 $3\% \sim 25\%$ (表 2)。Bland-Altman 一致性分析结果显示,95% LoA 分别为 $-2.15 \sim 0.45 \text{ min}$ 和 $-2.54 \sim 1.94 \text{ min}$,超过 95% 的点落在 LoA 以内(图 2H,I),表明 Eye-Monitor 测量看计算机屏幕时长以及看手机时长方面的准确性均较好。在看计算机屏幕时长以及看手机时长测量水平下,各仪器测量值的变异系数分别为 $1.49\% \sim 12.51\%$ 和 $1.20\% \sim 8.33\%$,稳定性较好(图 3G,H)。

表 3 Eye-Monitor 在坐姿头部倾斜角方面检测值数据分布 $[M(Q_1, Q_3), ^\circ]$

Table 3 Distribution of Eye-Monitor measured values under different head tilt angles when sitting $[M(Q_1, Q_3), ^\circ]$

设定值	样本量	测量值
左偏 10°	42	10.75(10.15, 11.40)
左偏 20°	42	20.40(19.80, 21.13)
左偏 40°	42	40.70(39.80, 41.40)
左偏 60°	42	60.30(59.18, 61.40)
右偏 10°	42	10.60(9.70, 10.93)
右偏 20°	42	20.35(19.63, 21.08)
右偏 40°	42	40.30(39.30, 41.23)
右偏 60°	42	59.75(59.00, 60.90)

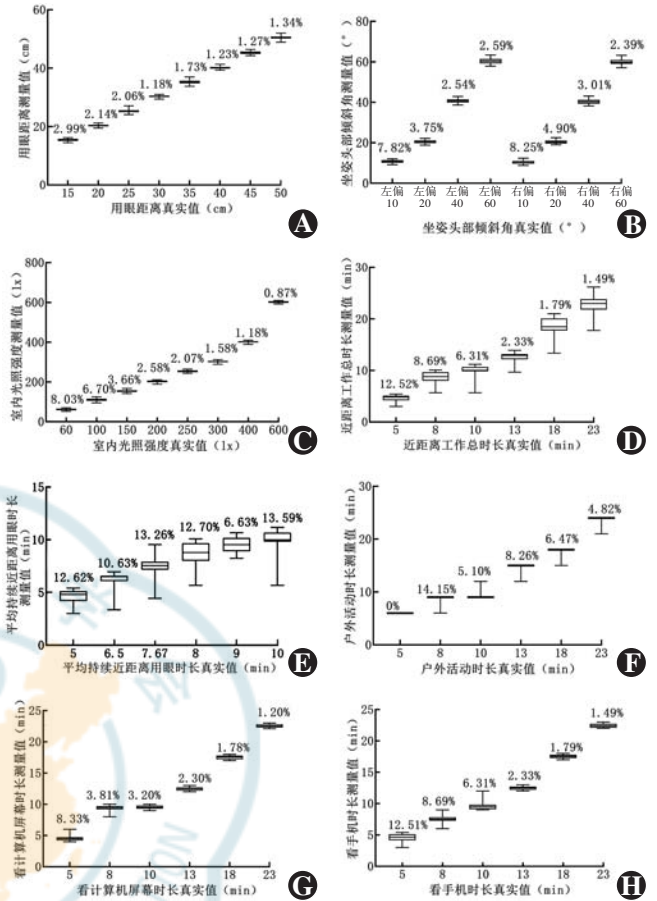


图 3 不同条件下各仪器之间测量值的变异情况 ($n = 42$) A: 用眼距离 B: 坐姿头部倾斜角 C: 室内光照强度 D: 近距离工作总时长 E: 平均持续近距离用眼时长 F: 户外活动时长 G: 看计算机屏幕时长 H: 看手机时长

Figure 3 Variations of Eye-Monitor measured values under different conditions ($n = 42$) A: working distance B: head tilt angle when sitting C: indoor light intensity D: total near-work time E: average continuous near-work time F: outdoor activity time G: time watching computers H: time watching mobile phones

表 4 Eye-Monitor 在室内光照强度方面检测值数据分布 $[M(Q_1, Q_3), \text{lx}]$

Table 4 Distribution of Eye-Monitor measured values under different indoor light intensities $[M(Q_1, Q_3), \text{lx}]$

设定值	样本量	测量值
60 lx	42	63.00(58.00, 65.00)
100 lx	42	112.00(105.00, 115.00)
150 lx	42	154.00(150.00, 158.00)
200 lx	42	204.50(198.75, 207.00)
250 lx	42	252.00(248.75, 258.00)
300 lx	42	302.00(300.75, 304.00)
400 lx	42	402.00(398.75, 405.00)
600 lx	42	602.50(598.00, 606.25)

表 5 Eye-Monitor 在近距离工作总时长方面检测值数据分布
[$M(Q_1, Q_3)$, min]

Table 5 Distribution of Eye-Monitor measured values under different total near-work time [$M(Q_1, Q_3)$, min]

设定值	样本量	测量值
5 min	42	5.17(4.92, 5.17)
8 min	42	8.00(7.91, 8.25)
10 min	42	9.91(9.83, 10.00)
13 min	42	12.42(12.08, 13.00)
18 min	42	17.84(17.75, 18.33)
23 min	42	22.32(21.93, 22.92)

注:近距离工作总时长的 13 min 为 2 次近距离工作时长之和(即 5 min+8 min);18 min 为后 2 次近距离工作时长之和(即 8 min+10 min);23 min 为 3 次近距离工作时长之和(即 5 min+8 min+10 min)

Note:13 minutes was the sum of 5 minutes and 8 minutes. 18 minutes was the sum of 8 minutes and 10 minutes. 23 minutes was the sum of 5 minutes, 8 minutes, and 10 minutes

表 6 Eye-Monitor 在平均持续近距离用眼时长方面检测值
数据分布[$M(Q_1, Q_3)$, min]

Table 6 Distribution of Eye-Monitor measured values under different average continuous near-work time [$M(Q_1, Q_3)$, min]

设定值	样本量	测量值
5 min	42	5.17(4.92, 5.17)
6.5 min	42	6.21(6.04, 6.50)
7.67 min	42	7.44(7.31, 7.64)
8 min	42	8.00(7.91, 8.25)
9 min	42	8.92(8.88, 9.16)
10 min	42	9.91(9.83, 10.00)

注:近距离工作总时长的 13 min 为前 2 次近距离工作时长之和(即 5 min+8 min);18 min 为后 2 次近距离工作时长之和(即 8 min+10 min);23 min 为 3 次近距离工作时长之和(即 5 min+8 min+10 min)。平均持续近距离用眼时长=近距离工作总时长/近距离工作次数,由上述的 13 min(2 次近距离工作)、18 min(2 次近距离工作)、23 min(3 次近距离工作)代入公式即可得到 6.5、9 和 7.67 min

Note:Total near-work time:13 minutes was the sum of 5 minutes and 8 minutes. 18 minutes was the sum of 8 minutes and 10 minutes. 23 minutes was the sum of 5 minutes, 8 minutes, and 10 minutes. Average continuous near work time = the total near-work time/times of near work. According to the formula, substituting above 13 minutes (2 times), 18 minutes (2 times), 23 minutes (3 times) could get 6.5 minutes, 9 minutes, 7.67 minutes, respectively

表 7 Eye-Monitor 在户外活动时长方面检测值数据分布
[$M(Q_1, Q_3)$, min]

Table 7 Distribution of Eye-Monitor measured values under different outdoor activity time [$M(Q_1, Q_3)$, min]

设定值	样本量	测量值
5 min	42	6.00(6.00, 6.00)
8 min	42	6.00(6.00, 6.00)
10 min	42	9.00(9.00, 9.00)
13 min	42	12.00(12.00, 12.00)
18 min	42	15.00(15.00, 15.00)
23 min	42	21.00(21.00, 21.00)

注:户外活动时长的 13 min 为前 2 次户外活动时长之和(即 5 min+8 min);18 min 为后 2 次户外活动时长之和(即 8 min+10 min);23 min 为 3 次户外活动时长之和(即 5 min+8 min+10 min)

Note:13 minutes was the sum of 5 minutes and 8 minutes. 18 minutes was the sum of 8 minutes and 10 minutes. 23 minutes was the sum of 5 minutes, 8 minutes, and 10 minutes

表 8 Eye-Monitor 在看电子屏幕时长方面检测值数据分布
[$M(Q_1, Q_3)$, min]

Table 8 Distribution of Eye-Monitor measured values under different screen watching time [$M(Q_1, Q_3)$, min]

设定值	样本量	测量值
看计算机屏幕时长		
5 min	42	4.50(4.20, 4.73)
8 min	42	9.50(9.20, 9.70)
10 min	42	9.50(9.30, 9.80)
13 min	42	12.50(12.20, 12.70)
18 min	42	17.55(17.20, 17.80)
23 min	42	22.50(22.30, 22.80)
看手机时长		
5 min	42	4.55(4.20, 4.93)
8 min	42	7.50(7.28, 7.83)
10 min	42	9.50(9.10, 9.83)
13 min	42	12.50(12.20, 12.70)
18 min	42	17.55(17.28, 17.80)
23 min	42	22.40(22.10, 22.73)

注:看计算机屏幕时长的 13 min 为前 2 次看计算机屏幕时长之和(即 5 min+8 min);18 min 为后 2 次看计算机屏幕时长之和(即 8 min+10 min);23 min 为 3 次看计算机屏幕时长之和(即 5 min+8 min+10 min)。看手机时长计算方式同看计算机屏幕时长

Note:Time watching computers:13 minutes was the sum of 5 minutes and 8 minutes. 18 minutes was the sum of 8 minutes and 10 minutes. 23 minutes was the sum of 5 minutes, 8 minutes, and 10 minutes. Time watching phones was calculated the same way as time watching computers

3 讨论

近年来,智能设备被用于量化近视相关环境危险因素^[4-7],为近视防控研究和临床工作中精准化和个性化记录儿童青少年的用眼情况提供了可能。仪器硬件测量的准确性和稳定性是保证设备可信度的前提。本研究首先通过静态试验测量各类传感器测量距离、坐姿头部倾斜角、光照强度的精准水平;通过招募受试者进行动态试验,即受试者佩戴该设备在一些场景下进行活动,如近距离阅读纸质材料、户外活动以及看手机、计算机屏幕等实际应用场景,检测了设备的实用性。本研究采用聚类、分类和关联算法等机器学习技术,对数据进行分析,并评判客观量化数据,结果表明基于人工智能、大数据和客观传感等技术获取近视相关环境因素客观数据的 Eye-Monitor 仪具有较好的准确性和稳定性。

教育方式改变、看电子屏幕时长增加和户外活动减少是近视发生和发展主要的环境危险因素^[3]。教育与近视发生和发展因果关系的确立与近距离工作密不可分。阅读和写作是教育活动的重要组成部分,已有不少证据表明,较多的近距离工作加快近视的发生

和发展,并有研究表明较长连续的近距离工作时间或较短工作距离可能比总时间更重要^[10]。在用眼距离方面, Eye-Monitor 的最大测量误差发生在 50 cm 处,仅为 2 cm;在近距离工作总时长以及平均持续近距离用眼时长方面,仪器测量值均小于设定值,最大测量误差分别为 5.24 min 和 4.33 min,其可能原因为测量时长较短,但测量误差可以满足临床需求。在稳定性方面,距离以及时长的最大变异系数均 <15%,具有较好的稳定性。

坐位时头部倾斜角增加也可能引起眼睑压力改变、眼外肌异常收缩和外周视网膜明显远视性离焦^[11]。以往近距离工作与近视关系的研究多通过问卷调查,由于混杂因素较多使证据强度不足。本研究结果显示, Eye-Monitor 在测量坐姿头部倾斜角时最大测量误差发生于设定值为左偏 60° 时,仅为 3.40°,且变异系数最大值为 8.25%,准确性与稳定性均较好。

计算机屏幕和智能手机已成为我们日常生活的一部分,学校教育也融入了数字设备,然而目前尚无足够证据表明使用电子设备较其他近距离工作(如阅读)对近视发生和发展的影响更大^[12]。但如果长时间使用电子产品,增加了近距离用眼时间,并占用较多户外活动时间,学龄儿童视觉可能会受到严重影响。另有研究者发现,不同类型的电子设备(如智能手机或计算机屏幕等不同屏幕大小的电子设备)与近视存在不同程度的关联^[13],但是将两者作为独立危险因素的研究证据不足。本研究通过人工智能客观量化看手机及看计算机屏幕时长,结果显示仪器测量值均小于设定值,但当测量时长较长时,测量相对误差较小,提示在日常佩戴中要达到较长的佩戴时长;在稳定性方面,看手机以及计算机屏幕时长的最大变异系数均 <15%,稳定性较好。 Eye-monitor 可为将来电子设备使用对近视发生和发展影响的进一步研究提供客观数据。

大量研究表明,增加户外活动时长可以有效预防和延缓近视的发生和发展^[14]。户外活动时间增加对近视的保护作用可能与户外高强度照度有关,然而有关光照水平影响近视发生和发展的机制还不明确,有研究者猜测户外高强度的光照水平刺激视网膜释放多巴胺以及紫外线照射可以促进人体维生素 D 的合成,从而抑制巩膜生长和眼轴增长^[15-16]。但户外活动时长越长、光照强度越大是否对减缓近视进展有积极的正向作用仍不得而知。室内以及室外视网膜远视性和近视性离焦的平衡不同,仍需要更严谨、系统的证据进行证实^[17]。本研究应用 Eye-Monitor 量化室内、室外光照强度和户外时长,发现对于户外活动时长的监测

准确性和稳定性均较好。室内光照强度最大测量误差为 25 lx,户外光照强度平均误差为 297 lx,这可能是由于户外入射光源不稳定、环境多变等各种不可控因素,使得金标准(光强仪测量值)以及 Eye-Monitor 监测的光照强度波动范围较大。

近年来,国内外也出现了一些针对近视相关环境因素的监测设备,如“云夹”^[5],其通过实验研究证明在测量用眼距离以及光照强度方面的准确性和稳定性均符合临床需求,与本研究相比,其优势在于提供了这些因素的时间作用模式。本研究所用设备 Eye-Monitor,不仅能够实现用眼距离的实时监测,而且可以同时收集坐姿头部倾斜角、近距离工作总时长以及平均持续近距离用眼时长等近距离工作参数。基于深度学习图像算法模型的人工智能计算机视觉技术,客观辨别记录近距离阅读、看计算机屏幕、看手机及户外活动时长等相关数据;与其他类型的传感器需要额外固定或载体承接相比, Eye-Monitor 采用挂耳式设计,不需要载体,摘戴更方便;对于不同头围的儿童,也设置了大小不同的型号,以满足实际应用需求;对于戴眼镜的儿童,配备眼镜夹,用以固定该仪器与镜腿的位置,保证该设备的稳固。由于人们转换视角时习惯于转动眼球而不转动头部,当视线朝向周边,视线方向与仪器测量方向可能存在微弱偏差,因此智能可穿戴设备的定向灵敏度和定向识别能力需进一步提升。

综上所述, Eye-Monitor 不仅能够实现近距离工作光照和用眼距离的实时监测,而且可以同时收集坐姿头部倾斜角、平均持续近距离用眼时长以及近距离工作总时长等用眼行为参数,能够准确识别近距离用眼状态,客观记录看纸质书本、计算机屏幕和手机时长以及户外活动时长。在未来研究中,可进一步提高其定向灵敏度、定向识别能力以及测距范围等,使之能够更全面、精准地量化儿童青少年近视相关环境危险因素,为未来制定更精准、可实施的近视预防干预措施提供可靠的基础。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 吴紫云:直接参与选题、酝酿和设计试验、实施研究、采集数据、分析/解释数据、起草及修改文章;霍环环:实施研究、采集数据、分析/解释数据;刘艺:实施研究、采集数据;王兴荣:直接参与选题;胡媛媛:直接参与选题、酝酿和设计试验、分析/解释数据;毕宏生:直接参与选题、酝酿和设计试验、分析/解释数据、对文章知识性内容的审阅和智力性内容的修改及定稿

参考文献

- [1] Harb EN, Wildsoet CF. Origins of refractive errors: environmental and genetic factors[J]. Annu Rev Vis Sci, 2019, 5: 47-72. DOI: 10.1146/annurev-vision-091718-015027.

- [2] 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.
- [3] Morgan IG, Wu PC, Ostrin LA, et al. IMI risk factors for myopia [J/OL]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2021, 62(5): 3 [2023-01-10]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33909035/>. DOI: 10.1167/iovs. 62. 5. 3.
- [4] Williams R, Bakshi S, Ostrin EJ, et al. Continuous objective assessment of near work [J/OL]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 6901 [2023-01-10]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31061427/>. DOI: 10.1038/s41598-019-43408-y.
- [5] 温龙波, 蓝卫忠, 李晓柠, 等. 客观监测近视眼相关环境因素的新设备“云夹”的准确性和稳定性研究 [J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2017, 19(4): 198-203. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X. 2017. 04. 002.
Wen LB, Lan WZ, Li XN, et al. Accuracy and stability of Clouclip™, a novel device to record myopic environmental risks [J]. *Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci*, 2017, 19(4): 198-203. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X. 2017. 04. 002.
- [6] Read SA, Vincent SJ, Tan CS, et al. Patterns of daily outdoor light exposure in Australian and Singaporean children [J/OL]. *Transl Vis Sci Technol*, 2018, 7(3): 8 [2023-01-11]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29862140/>. DOI: 10.1167/tvst. 7. 3. 8.
- [7] Verkicharla PK, Ramamurthy D, Nguyen QD, et al. Development of the fitsight fitness tracker to increase time outdoors to prevent myopia [J/OL]. *Transl Vis Sci Technol*, 2017, 6(3): 20 [2023-01-12]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28660095/>. DOI: 10.1167/tvst. 6. 3. 20.
- [8] CLSI. Measurement procedure comparison and bias estimation using patient samples: approved guideline-third edition. CLSI document EP09-A3 [M]. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute, 2013: 3-15.
- [9] Wu LJ, Wang YX, You QS, et al. Risk factors of myopic shift among primary school children in Beijing, China: a prospective study [J]. *Int J Med Sci*, 2015, 12(8): 633-638. DOI: 10.7150/ijms. 12133.
- [10] 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.
- [11] Charman WN. Myopia, posture and the visual environment [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2011, 31(5): 494-501. DOI: 10.1111/j.1475-1313. 2011. 00825. x.
- [12] Lanca C, Saw SM. The association between digital screen time and myopia: a systematic review [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2020, 40(2): 216-229. DOI: 10.1111/opo. 12657.
- [13] Liu S, Ye S, Xi W, et al. Electronic devices and myopic refraction among children aged 6-14 years in urban areas of Tianjin, China [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2019, 39(4): 282-293. DOI: 10.1111/opo. 12620.
- [14] Xiong S, Sankaridurg P, Naduvilath T, et al. Time spent in outdoor activities in relation to myopia prevention and control: a meta-analysis and systematic review [J]. *Acta Ophthalmol*, 2017, 95(6): 551-566. DOI: 10.1111/aos. 13403.
- [15] Rose KA, Morgan IG, Ip J, et al. Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children [J]. *Ophthalmology*, 2008, 115(8): 1279-1285. DOI: 10.1016/j.ophtha. 2007. 12. 019.
- [16] Yazar S, Hewitt AW, Black LJ, et al. Myopia is associated with lower vitamin D status in young adults [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2014, 55(7): 4552-4559. DOI: 10.1167/iovs. 14-14589.
- [17] Flitcroft DI. The complex interactions of retinal, optical and environmental factors in myopia aetiology [J]. *Prog Retin Eye Res*, 2012, 31(6): 622-660. DOI: 10.1016/j.preteyeres. 2012. 06. 004.

(收稿日期: 2023-04-09 修回日期: 2023-06-26)

(本文编辑: 刘艳 施晓萌)

消息

《真菌性角膜炎》出版发行

由高华教授主编、史伟云教授主审的著作《真菌性角膜炎》已由人民卫生出版社出版。

真菌性角膜炎是我国感染性角膜病致盲的首位原因, 迄今为止, 国内尚缺少相关专著, 高华教授与史伟云教授结合国内外研究进展, 并结合自己丰富的临床经验, 以及大量的临床病例分析, 将真菌性角膜炎的诊断和治疗整理成书。

全书分为九章, 涵盖了真菌性角膜炎的流行病学和发病机制、病原学、临床表现、检查与诊断、药物治疗、手术治疗、术后视力矫正、难治性病例等。其中, 手术治疗章节内容涉及手术适应证、手术技术、术中特殊情况及处理、术后并发症及处理等诸多方面。全书配套 18 个操作及手术视频, 提供了 500 余幅相关疾病图片, 旨在为广大眼科医务工作者的临床及相关研究提供实用性参考。

本书小 16 开, 彩色印刷, 精装, 30.5 万字, 240 页, 定价 118 元, 全国各大新华书店、医药书店、当当网、京东商城均有销售。也可登录人民卫生出版社官网 (<https://www.pmphmall.com/>) 或人民卫生出版社京东旗舰店 (<https://mall.jd.com/index-10226008.html>) 在线购买。也可与人民卫生出版社销售部联系购买, 电话: 010-59787351/18611134562 (同微信), 地址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号人卫大厦 B 座。

(本刊编辑部)

读者·作者·编者

本刊对稿件的学术要求

文稿须有较高的学术价值, 具有创新性、科学性、导向性和实用性。文稿要求资料翔实、实事求是、立论新颖、方法学正确、论据充分、图表恰当、结果客观、结论可靠、论述严谨、符合逻辑、层次清晰、数据准确、语句通顺。

(本刊编辑部)