

基于移动终端的视力智能检查和管理系统的研发及临床应用价值评估

项毅帆 陈晴晶 胡伟玲 许发宝 林浩添

中山大学中山眼科中心 眼科学国家重点实验室, 广州 510060

通信作者: 林浩添, Email: linht5@mail.sysu.edu.cn

【摘要】 目的 研发基于移动终端的视力智能检查和管理系统, 并评估其实际临床应用效果。 方法 采用诊断试验研究方法, 纳入 2020 年 3 月—5 月在中山大学中山眼科中心就诊的儿童和青少年 50 例 100 眼, 年龄 3~14 岁, 平均(8.16±4.58)岁。使用 JAVA 及 xcode11 框架研发适用于 Android 及 IOS 平台的基于移动终端的视力智能检查和管理系统, 采用实时测距、语音识别、手势识别等智能技术实现视力检查过程中的实时交互。所有受试者均接受双眼裸眼传统 E 字表视力检查和基于移动终端智能视力检查, 2 种方法配合眼数差异比较采用 χ^2 检验, 2 种方法测定的 LogMAR 视力结果差异比较和一致性分析分别采用 Wilcoxon 符号秩检验和 Kappa 检验。 结果 成功研发适用于 Android 及 IOS 平台的基于移动终端的视力智能检查和管理系统, 可检测的视力范围为 0.1~1.5, 视标大小和分辨率均达到视力检查表的国家标准, 实现了 3 m 距离下准确的视力检查、智能交互、结果输出和自动建档功能。传统检查法和智能检查法测量配合眼数比例分别为 99.0% (99/100) 和 98.0% (98/100), 二者比较差异无统计学意义 ($\chi^2=0.338, P=0.561$)。传统检查法和智能检查法测定的 LogMAR 视力分别为 0.3 (0.2, 0.5) 和 0.3 (0.2, 0.5), 二者比较差异无统计学意义 ($Z=-1.602, P=0.109$), 2 种检测方法测定 LogMAR 视力的一致性较好 (Kappa 系数=0.885)。 结论 基于移动终端的视力智能检查和管理系统测定视力具有较好的准确性和可行性, 可有效满足用户随时随地自测视力的需求, 并可同步建立视觉健康档案, 实现对视力情况的长期跟踪, 在个性化眼健康管理新模式的发展中具有很好的应用价值。

【关键词】 健康管理; 眼; 视力; 移动终端; 智能系统

基金项目: 广州市科技计划项目基础研究计划市重点实验室建设项目 (202002010006)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20200522-00367

Development and clinical evaluation of intelligent vision examination and management system based on mobile terminal

Xiang Yifan, Chen Jingjing, Hu Weiling, Xu Fabao, Lin Haotian

State Key Laboratory of Ophthalmology, Zhongshan Ophthalmic Center, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510060, China

Corresponding author: Lin Haotian, Email: linht5@mail.sysu.edu.cn

【Abstract】 **Objective** To develop an intelligent vision examination and management system based on mobile terminal, and evaluate its practical application. **Methods** A diagnostic test study was adopted. Fifty children and adolescents (100 eyes) aged from 3 to 14 years, with an average age of (8.16±4.58) years, were enrolled in Zhongshan Ophthalmic Center from March to May, 2020. An intelligent vision examination and management system for Android and IOS devices, which applied technologies of real-time range measurement, speech recognition, and gesture recognition to achieve the real-time interaction in the vision examination, was developed using JAVA language and xcode11. The uncorrected visual acuity of subjects was tested with the intelligent vision system and the standard eye chart in hospital. The difference in the number of cooperative eyes between the two methods was analyzed by χ^2 test. The LogMAR acuity of the two methods were compared by Wilcoxon rank sum test and the consistency between the two methods was analyzed by Kappa test. The study adhered to the Declaration of Helsinki, and the study protocol was approved by an Ethics Committee of Zhongshan Ophthalmic Center (No. 2020KYPJ095). Written informed consent was obtained from guardians of each subject prior to any examination. **Results** The intelligent vision examination and management system was successfully developed for Android and IOS devices, which was loaded with precise vision examination at 3 meters, intelligent interaction, result output and automatic filing functionalities. The inspection range of visual acuity was from 0.1 to 1.5. The size and resolution of eye chart met the national standard. There was no significant difference in the number of cooperative eyes during examination between traditional eye chart (99/100) and intelligent vision examination system (98/100) ($\chi^2=0.338, P=0.561$). There was no significant difference in

examination results between traditional eye chart 0.3 (0.2, 0.5) LogMAR and intelligent vision examination system 0.3 (0.2, 0.5) LogMAR ($Z = -1.602, P = 0.109$), and there was a high consistency between the two methods ($Kappa\ coefficient = 0.885$). **Conclusions** The intelligent vision examination and management system based on the mobile terminal is of high accuracy and practicability, which can effectively meet the public demand for at-home vision testing and long-term tracking. The system can be promoted and applied as a new mode for personalized eye health management.

[Key words] Eye health management; Visual acuity; Mobile terminal; Intelligent system

Fund program: Guangzhou Key Laboratory Project (202002010006)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20200522-00367

儿童和青少年的近视问题已成为全球公共卫生问题^[1]。预测到 2050 年,全球近视患病率将超过 50%^[2-3]。我国儿童和青少年近视呈高发和低龄化趋势,已成为全社会关注的焦点。2018 年教育部等八部门印发《综合防控儿童青少年近视实施方案》,将近视防控作为儿童青少年健康管理的重要工作。开展儿童和青少年人群的眼健康管理,早期发现近视倾向对于缓解假性近视、控制近视的发生和发展、减缓近视患病率的增长具有重要意义^[4-5]。眼健康管理是健康管理在眼科的实践,以眼病预防为主导,早发现、早干预为原则,维持、改善、提高民众的视觉质量为目标。视力检查是必要的视功能检查项目,是眼健康评估的主要指标^[6]。现在,医院场景下的视力表灯箱或液晶屏仍是视力检查的通用方法,需要眼科专业人员参与,消耗了大量的医疗资源^[7]。建立个性化的眼健康管理模式、实现视觉健康的自我检测和长期跟踪对于提高眼健康管理效率、缓解医疗资源压力具有重要意义。本研究拟研发基于移动终端的视力智能检查和管理系统,并验证该系统在自测视力中的应用价值和效能。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用诊断试验研究方法,连续纳入于 2020 年 3 月—5 月在中山大学中山眼科中心就诊的儿童及青少年 50 例 100 眼,其中男 22 例 44 眼,女 28 例 56 眼;年龄 3~14 岁,平均(8.16±4.58)岁;3~6 岁者 21 例,>6~14 岁者 29 例。纳入标准:(1)年龄 3~14 岁;(2)身体一般情况良好;(3)可以配合 5 m E 字标准视力表的视力检查(传统视力检查法);(4)愿意接受基于移动终端的视力智能检查和管理系统的检查(智能视力检查法);(5)依从性好。排除标准:(1)无法配合传统视力检查者;(2)单眼视力(小数记录法)低于 0.1 者;(3)不愿意接受智能视力检查法者。本研究方案经中山大学中山眼科中心伦理委员会审核批准(批文号:2020KYPJ095),所有研究步骤和流程遵循《赫尔辛基宣言》,受检者及其监护人均了解本研究目的并

由监护人自愿签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 基于移动终端智能视力检查和管理系统的研发

1.2.1.1 E 字视标视力表设计 根据传统的国家标准对数视力表(GB 11533-1989)对 E 视标进行设计。采用三划等长的正方形 E 字视标,使视标的每一笔划或空隙均为正方形边长的 1/5。规定能分辨 1' 视角的视力为正常视力标准,记为 5.0,相当于传统小数记录的 1.0 视力。采用每行相差 10 倍的标准排列视标,每行即 10^{0.1} 的增率。各行视标的视角均严格按此增率呈几何(等比)级数排列,即相邻 2 行视标之比恒定为 1.26。根据以上标准设计完成测试距离为 3 m 的 E 字视标视力表(表 1)。

表 1 3 m 距离 E 字视力表的视标设计规则
Table 1 Design of E visual acuity chart at 3 meters

视角(°)	5' 记录	小数记录	视标总边长 (mm)	视标单边长 (mm)	下行视标 放大倍率
0.5	5.3	2	2.19	0.44	1.26
0.6	5.2	1.5	2.75	0.55	1.26
0.8	5.1	1.2	3.47	0.69	1.26
1	5.0	1.0	4.36	0.87	1.26
1.3	4.9	0.8	5.49	1.10	1.26
1.6	4.8	0.6	6.92	1.38	1.26
2	4.7	0.5	8.71	1.74	1.26
2.5	4.6	0.4	10.96	2.19	1.26
3.2	4.5	0.3	13.80	2.76	1.26
4	4.4	0.25	17.37	3.47	1.26
5	4.3	0.2	21.87	4.37	1.26
6.3	4.2	0.15	27.53	5.51	1.26
7.9	4.1	0.12	34.65	6.93	—

1.2.1.2 程序设计 采用 JAVA 及 xcode11 设计研发分别适用于 Android 及 IOS 平台的视力智能检查和管理系统,测试过程中确保移动终端屏幕中心与受检眼高度在同一水平。系统内置 3 m 测试距离的视标,测试过程中视标单个显示。同时系统纳入实时测距、语音识别、手势识别等技术。

1.2.1.3 实时测距设计 利用移动终端自身摄像头及外设距离传感器 2 种方式实时测距,以便在测试状态下能自动识别瞳孔与移动设备间的距离,并将当前距离实时显示在屏幕上方,当用户前后移动时能够将测试距离反映给用户,保证测试距离的稳定性和可靠性,每次测试环境标准化。结合移动终端自身摄像头的实时测距原理:系统自动获取移动终端摄像头的焦距参数 F ,并依据用户的年龄及该年龄段的平均瞳距设置用户的瞳距 P 值,用户可依据自身实际测量值对瞳距进行手动调整。此时移动相机离物体更近或者更远,系统可以应用公式计算得到用户到移动终端的距离 $D=(65 \times F)/P$ 。

1.2.1.4 交互方式设计 用户在识别视标方向时与该系统的交互方式分为手动操作、语音控制和手势控制 3 种,在不同的场景下可分别使用不同的交互方式。手动操作为直接滑动评估,需要他人配合进行,根据受试者对视标的识别情况在屏幕上进行滑动操作,对测试结果进行反馈。语音控制、手势控制可由用户单独完成,根据视标识别情况进行语音回答“上、下、左、右”,或将手指指向上方、下方、左方、右方。语音识别系统在测试过程中能够识别语音,并将语音实时转化为文字,并结合语义识别来判定与系统预设的正确结果是否相同,当相同时判定为正确,不同时判定为错误,无法判定时默认为无法识别,提示用户再次回答。在用户使用过程中,系统根据用户的语音习惯进行自动学习,优化语音识别的准确性及响应的灵敏性。手势控制通过计算机视觉来实现,在识别到人手轮廓之后,进行手势分割、手势分析以及手势识别,并转化为与视标对应的方向值,最终判定与系统预设的正确结果是否相同。当相同时判定为正确,不同时判定为错误,无法判定时默认为无法识别,提示用户再次尝试。在用户使用过程中,系统会自动学习用户的手势习惯,并优化识别的准确性及灵敏性。

1.2.1.5 测试提示 在开始视力测试后,系统会同时通过声音、画面及文字提示受试者当前测试为右眼或左眼,以及获取受试者是否佩戴眼镜,同时将佩戴眼镜或不佩戴眼镜的状态自动记录到受试者的视觉健康档案中。

1.2.1.6 测试流程 该系统默认的视力检查从小数视力 0.3 对应的视标行开始。用户测试过 1 次后,系统会从上一次结果对应的视标上移 2 行(较大的视标)开始测试。如上一次测试的小数视力为 0.6,则本次测试的起始视标行对应的小数视力为 0.4。视标出现的方向随机分布,每次仅显示 1 个视标。判断标准:每

行连续准确识别 3 个视标,则自动进入下一行(较小的视标)。如果每行识别错误 2 个视标则自动进入上一行(较大的视标)。如果“看不见”某行视标,只需点击“看不清”或口述“看不清”,程序会自动转入上一行(较大的视标),直至用户可以看清视标。

1.2.1.7 输出结果 用户完成双眼的视力测试后,双眼的检查结果会显示在屏幕上(五分记录法和小数记录法),结果保存到本地并自动上传至服务器,便于后期进行查询和统计。同一天内重复测量,系统只保留用户最新的视力测试结果。

1.2.1.8 视觉健康档案 用户可根据需要建立自己的视觉健康档案,在视力测试开始前可输入个人信息并建立视觉健康档案,测试的结果会自动保存至该用户的档案中。用户可随时查看自己的视觉健康档案,了解视力的变化情况。在同一移动终端可实现对多人视觉健康档案的建档、跟踪和管理,满足不同家庭和应用场景的使用需求。

1.2.2 视力检查 所有受试者均接受双眼裸眼传统视力检查和智能视力检查,2 种检查不分先后。传统视力检查由同一位眼视光医生进行;智能视力检查采用同一台移动设备(华为 mate20 型智能手机,Android 平台)进行,检查开始前助手对系统功能和操作流程进行讲解,协助和指导受试者完成视力检查。检查结束后由同一位检查人员记录受试者性别、年龄、2 种检查模式下不同配合程度的眼数分布和视力结果。受试者中配合完成视力检查并得到视力检查结果者视为配合,否则视为不配合。取右眼视力检测数据进行统计分析。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 20.0 统计学软件进行统计分析。2 种视力检查方法的配合程度差异比较采用配对 χ^2 检验。本研究中 LogMAR 视力测量值经 W 检验呈偏态分布,以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示。2 种视力检查方法的 LogMAR 视力测量值差异比较采用 Wilcoxon 符号秩检验,一致性采用 Kappa 检验。Kappa 系数 ≥ 0.75 提示一致性较好; $0.4 \leq \text{Kappa 系数} < 0.75$ 提示一致性一般; Kappa 系数 < 0.4 提示一致性较差。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基于移动终端智能视力检查和管理系统的运行

利用 JAVA 及 xcode11 设计,基于实时测距、语音交互、动作交互技术成功研发适用于 Android 及 IOS 平台的视力智能检查和管理系统(图 1)。系统包括主

界面、遮盖提示页面、测试页面、视觉健康档案管理页面等功能页面。系统可自动检查移动终端的屏幕尺寸,并自动完成视标大小校准,同级的视标物理尺寸保持一致。该系统可实现 3 m 距离下的视力检查、实时交互、结果输出和自动建档,可检查的视力范围为 0.1~1.5。系统自测结果表明,视标大小和分辨率均符合视力检查表的国家标准,实时测距的误差 ≤ 10 cm,语音识别和手势识别准确率均 $\geq 99.8\%$ 。检查场景示意图如图 2 所示。

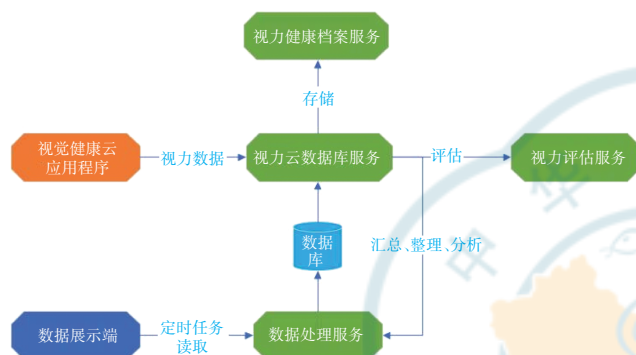


图 1 基于移动终端的视力智能检查和管理系统结构图

Figure 1 The structure of intelligent vision examination and management system based on mobile terminal

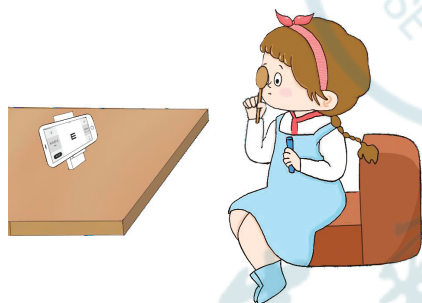


图 2 视力智能检查示意图

Figure 2 The scene diagram of intelligent vision examination

2.2 基于移动终端智能视力检查和管理系统的临床验证

2.2.1 2 种检查方法配合眼数比较 所有受检眼中,传统视力检查法中配合者 50 例 99 眼,占 99.0%,智能视力检查法中配合者 49 例 98 眼,占 98.0%,不配合的 1 例为 3 岁儿童。2 种检查方法配合眼数比较差异无统计学意义($\chi^2=0.338, P=0.561$)。

2.2.2 2 种检查方法测定视力结果比较 传统检查法与智能检查法测定的右眼 LogMAR 视力分别为 0.3 (0.2, 0.5) 和 0.3 (0.2, 0.5), 差异无统计学意义($Z=-1.602, P=0.109$)。2 种视力测定方法结果的一致性较好(Kappa 系数=0.885)。

3 讨论

开展眼健康管理,包括监测儿童和青少年视力变化并建立眼健康档案以实现近视等屈光不正的早期干预是目前我国近视防控工作的重要措施^[8-10]。针对目前视力检查手段对人力、物力的需求较高^[11],存在效率不足等问题,优化眼健康管理模式显得尤为重要。随着移动终端设备的普及和技术迭代,基于移动终端的健康管理模式和实施系统逐渐被研发和推广,并取得了较为理想的实践效果^[12-16]。本研究首次研发了基于移动终端的视力智能检查和管理系统并进行了临床实践验证,评估该系统检查结果的准确性和可行性,以了解基于移动终端的视力检查和个性化眼健康管理模式的可推广性和应用前景。

基于移动终端的视力智能检查和管理系统的研发和应用可在节省人力、物力资源的同时有效满足广大用户自测视力的需求。既往研发的视力检查系统主要基于计算机等大型移动终端设备,可以快速、准确地检查视力,可重复性较好,但尚未配置实时测距、语音交互和手势交互等智能技术,且需要在专业人员指导下完成^[17-19]。本研究研发的视力检查和管理系统可在 Android 及 IOS 平台上运行,并得益于移动终端在日常生活中的普及,可大幅度降低视力检测的成本,实现系统大规模、快速推广,使个性化的眼健康管理模式成为可能。实时测距、语音交互和手势交互等功能可智能辅助视力检查,弥补了传统视力检查模式人力成本的不足,提高了眼健康管理的效率,可有效缓解医疗资源需求压力。

本研究中纳入的受试者为 14 岁以下的儿童和青少年,处于近视高发并进展最快的年龄阶段,是我国近视防控的主要目标人群^[20]。研究表明,受试者对于标准环境下医院场景的视力检查和基于移动终端视力检查的配合程度接近,说明绝大部分儿童和青少年可以顺利完成智能视力检查过程,其中约 95% 的 3~6 岁儿童均可在家长的陪伴和/或系统的指导下完成,为该系统的推广应用提供了可能。年幼的儿童可在家长陪同下一起完成视力检查,避免了儿童在传统视力检查过程中的紧张状态及检查结果重复性低等问题,有望实现基于家庭场景的眼健康管理^[21]。本研究还发现基于移动终端的视力智能检查和管理系统与传统的医院标准环境下视力表检查结果无明显差异且一致性较好,说明视力智能检查和管理系统具有较好的应用效果,可为用户自测视力提供较为准确的测量结果。本研究为建立准确、有效的视觉健康档案提供了技术基础,也可为患者进一步寻求专业的医疗帮助提供依

据,推动近视等眼病的早期发现和早期干预,以达到改善群众视力眼健康管理的目标^[22]。基于移动终端的视力智能检查和管理系统可实现随时随地的视力自测和长期跟踪,具有较好的准确性、实用性和可行性,可作为个性化的眼健康管理模式进行推广和应用。

本研究纳入人群主要为正常人群、近视等屈光不正患者及少量弱视患者,研究结果尚未发现对这 3 类人群的检测准确性存在差异。后续仍需扩大样本量,针对不同病种开展针对性的应用准确性研究。目前系统采用的测试视标为单个视标,无法检测环境照度,后续会不断更新,实现多个视标检测、环境照度的实时监控等功能。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 林仲,梁远波,周红佳.大学生近视进展及其危险因素的研究进展[J].中华实验眼科杂志,2015,33(6):560-562. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2015.06.017.
- [2] 陈燕先,何明光.近视的预防和治疗:从研究证据到临床实践[J].中华眼视光学与视觉科学杂志,2017,19(1):1-3. DOI:10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2017.01.001.
- [3] Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050[J]. Ophthalmology, 2016, 123(5):1036-1042. DOI:10.1016/j.ophtha.2016.01.006.
- [4] 瞿佳,吕帆,徐良德.切实做好儿童青少年近视眼防控工作[J].中华眼科杂志,2019,55(2):81-85. DOI:10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2019.02.001.
- [5] 金迦力,何鲜桂,陆丽娜,等.筛查在预防儿童近视中的作用评价[J].中国学校卫生,2013,34(8):1015-1017.
- [6] 邹海东,朱剑锋.视力检查在眼病筛查中的作用[J].中华眼科杂志,2011,47(9):773-776. DOI:10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2011.09.002.
- [7] 陈思,金恩忠,任晓方,等.基于成本分析的临床科研探索:学龄儿童不同近视筛查方法成本分析[J].中华医学科研管理杂志,2013,26(6):427-429. DOI:10.3760/cma.j.issn.1006-1924.2013.06.022.
- [8] 宋磊,胡建民,陈雪兰,等. Lea Symbols 视力表与 ETDRS 视力表在学龄前儿童视力筛查中的应用比较[J].中华实验眼科杂志,2019,37(10):807-813. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.10.008.
- [9] 张利.近视眼的眼健康管理[J].中国眼镜科技杂志,2019,3:108-109. DOI:10.3969/j.issn.1004-6615.2019.03.033.
- [10] 张红.新时代眼健康管理模式的探讨[J].中国药物与临床,2018,18(12):2226-2227. DOI:10.11655/zgywylc2018.12.074.
- [11] 余利华,吕帆,陈洁,等. Lea Symbols 与 Tumbling E 视力表在学龄前儿童视力检查中的应用[J].中国实用眼科杂志,2006,24(3):291-295. DOI:10.3760/cma.j.issn.1006-4443.2006.03.019.
- [12] 王鹏程,孟爱凤,智晓旭,等.移动健康在肿瘤患者运动管理中的应用进展[J].中华现代护理杂志,2020,26(19):2636-2639. DOI:10.3760/cma.j.cn115682-20191217-04623.
- [13] 薄婷婷.慢性病患者对移动健康管理接受现状的研究进展[J].中国城乡企业卫生,2020,35(6):63-65. DOI:10.16286/j.1003-5052.2020.06.023.
- [14] 常光耀,黄彩红,王奕.基于智能终端的移动护理信息系统应用价值研究[J].中国实用护理杂志,2016,32(24):1903-1905. DOI:10.3760/cma.j.issn.1672-7088.2016.24.018.
- [15] 包玉倩.新技术助力血糖监测,大数据提升管理水平[J].中华糖尿病杂志,2019,11(5):305-309. DOI:10.3760/cma.j.issn.1674-5809.2019.05.001.
- [16] 徐志杰,黄浩星,赵优冬,等.基于穿戴式智能设备开展家庭医生在线健康宣教的研究[J].中华健康管理学杂志,2017,11(1):62-66. DOI:10.3760/cma.j.issn.1674-0815.2017.01.009.
- [17] 陈明,李建东,柴广睿,等.视力自动化检查系统的研制和临床应用[J].国际眼科杂志,2012,12(1):146-150. DOI:10.3969/j.issn.1672-5123.2012.01.48.
- [18] 王林农,戴怡康,蒋红兵,等.智能视力检测系统的研制及临床应用[J].南京医科大学学报:自然科学版,2001,21(3):229-232. DOI:10.3969/j.issn.1007-4368.2001.03.018.
- [19] 谢耀飞,许文龙,杨丽华,等.智能视力监测仪器在学龄儿童视力筛查中的应用[J].中国学校卫生,2018,39(6):938-939. DOI:10.16835/j.cnki.1000-9817.2018.06.041.
- [20] 董彦会,刘慧彬,王政和,等.中国 2005—2014 年 7~18 岁汉族儿童青少年近视现状和增长速度趋势分析[J].中华流行病学杂志,2017,38(5):583-587. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2017.05.005.
- [21] 关翠柳,林媚.3-6 岁儿童首次视力检查中应用个性化心理护理效果分析[J].国际医药卫生导报,2013,19(13):2026-2028. DOI:10.3760/cma.j.issn.1007-1245.2013.13.053.
- [22] 邹海东.当前我国眼健康管理面临的问题和挑战[J].中华眼科杂志,2017,53(7):481-483. DOI:10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2017.07.001.

(收稿日期:2020-09-22 修回日期:2021-08-08)

(本文编辑:张宇)