

# 基于视线跟踪技术的全自动反馈视野计在大学生检测中的初步报告

周凌霄<sup>1</sup>, 赵丽丽<sup>2</sup>, 郑秀娟<sup>3</sup>

引用:周凌霄,赵丽丽,郑秀娟. 基于视线跟踪技术的全自动反馈视野计在大学生检测中的初步报告. 国际眼科杂志, 2025, 25(2):319-322.

基金项目:陕西省重点研发计划项目(No.2022SF-339)

作者单位:(710077)中国陕西省西安市,西安医学院第一附属医院<sup>1</sup>眼科;<sup>2</sup>科研科;<sup>3</sup>(610065)中国四川省成都市,四川大学电气工程学院

作者简介:周凌霄,博士,副主任医师,副教授,研究方向:视网膜玻璃体疾病。

通讯作者:周凌霄. zhoulingxiao0520@163.com

收稿日期:2024-09-06 修回日期:2024-12-19

## 摘要

目的:观察基于视线跟踪技术的全自动反馈视野计在大学生初步应用并验证其测试效能。

方法:利用眼动仪与家用计算机、显示器搭建完成新型全自动反馈视野计平台后,基于注视和跳动两种特征眼动,通过分析参与者是否感知到刺激视标,视线扫描路径及向刺激视标注视点,从而判断参与者该部分视野是否存在异常。

结果:共采集63名119眼有效眼动数据,所有参与者完成测试平均时间为 $82.46 \pm 14.68$  s,右眼平均测试时间为 $88.21 \pm 15.30$  s,左眼平均测试时间为 $76.42 \pm 11.29$  s,左、右眼测试时长有差异( $P < 0.05$ )。

结论:基于视线跟踪技术的全自动反馈视野计能够实现人机自动交互,使视野检查过程简单易行,缩短了检查时间,提高了参与者体验。

关键词:视野检查;视线跟踪技术;眼动仪;全自动反馈;大学生

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2025.2.27

## Preliminary report of a fully automatic feedback perimeter based on eye gaze tracking technique in the detection of college students

Zhou Lingxiao<sup>1</sup>, Zhao Lili<sup>2</sup>, Zheng Xiujian<sup>3</sup>

Foundation item:Key Project of Science and Technology of Shaanxi Province (No.2022SF-339)

<sup>1</sup>Department of Ophthalmology; <sup>2</sup>Research Center, the First Affiliated Hospital of Xi'an Medical University, Xi'an 710077, Shaanxi Province, China; <sup>3</sup>College of Electrical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, Sichuan Province, China

Correspondence to:Zhou Lingxiao. Department of Ophthalmology,

the First Affiliated Hospital of Xi'an Medical University, Xi'an 710077, Shaanxi Province, China. zhoulingxiao0520@163.com

Received:2024-09-06 Accepted:2024-12-19

## Abstract

• AIM: To observe the preliminary application of fully automatic feedback perimeter based on the eye gaze tracking technique in the college students and to verify its test performance.

• METHODS: Home computer, monitor and eye tracker were used to complete the new automatic feedback perimeter meter. Based on the two characteristic eye movements of fixation and pulsation, the abnormal visual field is determined by analyzing whether the participant perceives the visual target, line-of-sight scan path and the fixation towards the visual target.

• RESULTS: A total of 63 participants (119 eyes) were collected with valid eye movement data. The average time for all participants was  $82.46 \pm 14.68$  s, the average time for right eyes was  $88.21 \pm 15.30$  s, and average time for the left eyes was  $76.42 \pm 11.29$  s ( $P < 0.05$ ).

• CONCLUSION: The fully automatic feedback perimeter based on eye gaze tracking technique can realize automatic human-computer interaction, and the detection method is simple and easy, which shortens the time of perimetry and improves the experience of participants.

• KEYWORDS: perimetry; eye gaze tracking; eye tracker; fully automatic feedback; college students

Citation:Zhou LX, Zhao LL, Zheng XJ. Preliminary report of a fully automatic feedback perimeter based on eye gaze tracking technique in the detection of college students. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2025,25(2):319-322.

## 0 引言

任何能够导致视觉传导通路损伤的疾病都可能引起视野异常,视野检查是我们在临床中进行疾病诊断、评估疾病转归等重要的检查手段。视野检查最常用于青光眼、视神经和视路疾病,也可用于视网膜色素变性等视网膜脉络膜疾病,以及脑部肿瘤等神经科疾病和视力残疾的评定<sup>[1-2]</sup>。目前自动静态阈值视野计是临床应用较为广泛的视野检查方法<sup>[3]</sup>,但由于影响检查结果的主观因素较多,如检查过程相对患者认知来说比较复杂,持续时间相对较长等,所以近年来许多新型视野检查方法都致力于缩短检测时间、简化检测流程,如倍频视野检查法、SITA快速程序、TOP程序等,然而对于儿童、老年和某些特殊人群,上述问题并没有得到根本的解决<sup>[4-6]</sup>。视线跟踪技术

(eye gaze tracking)也就是利用眼动仪在无需参与者配合下准确稳定地采集眼动数据<sup>[7-8]</sup>,本研究提出使用眼动仪捕捉视野检查中参与者注视点所在位置、眼球运动轨迹,自动反馈参与者是否能察觉到检查范围内出现的视标,无需参与者手动响应,智能分析参与者视野是否存在异常,让视野检查过程变得简单易行,提高参与者体验。

## 1 对象和方法

### 1.1 对象

参与者均为四川大学在校大学生志愿者,共63名119眼纳入研究,参与者均接受全面病史询问和眼科一般检查。纳入标准:裸眼视力或矫正视力 $\geq 5.0$ ,屈光不正球镜度数 $\pm 5.0$  D之内,柱镜 $\pm 3.0$  D之内。排除标准:可能导致视野损害的眼部疾病或手术史、全身疾病史、使用药物史等。本研究经西安医学院第一附属医院医学伦理委员会批准,所有参与者对本研究内容、方法和目的知情并自愿参与。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 资料采集

每位参与者资料采集分三部分:(1)一般信息:包括姓名、性别、年龄、社会经济背景。(2)眼部及全身疾病既往史:包括斜弱视、角膜疾病、屈光手术、青光眼、晶状体疾病、葡萄膜疾病、视网膜疾病、眼部外伤、内外眼手术等。(3)眼部情况检查:裸眼视力、最佳矫正视力、屈光检查、外眼检查。

#### 1.2.2 检测设备

本研究自主设计研发的基于视线跟踪技术的全自动反馈视野计,采用眼动仪和计算机模拟刺激视标呈现方式构建电子视野计的可视化系统。硬件要求:计算机硬件配置至少能流畅运行 window7 系统,有一个以上的 USB3.0 接口,用于连接眼动仪;显示器分辨率 1920 $\times$ 1080,根据人与屏幕距离以及眼动仪有效探测距离来计算需要呈现的30度视野范围的直径,必要时加用辅助显示器(图1);Tobii TX300 眼动仪。参考医用标准视野计 Humphrey Field Analyzer(HFA)的第三版说明书设计出视野测试界面,选择 Humphrey 视野计中心 30-2/76 格栅模式(图2),刺激视标的排列距离在水平和垂直方向上均为3°。眼动仪捕捉注视和跳动两种特征眼动,识别视线扫描路径及向刺激视标注视落点,分析参与者是否感知到刺激视标,从而判断参与者该部分视野是否存在异常。

#### 1.2.3 检测方法

在测试软件中录入参与者人口学基本信息,包括ID号、姓名、性别、出生日期等;录入参与者眼科基本信息,包括裸眼视力、矫正视力、屈光状态、当前诊断、既往病史等;选择视野检查模式及检查眼别,完成资料采集(图3A)。参与者坐于显示器前方,根据眼动仪探测距离要求,一般距离显示器64 cm左右,配戴合适的镜片矫正视力,保持双眼自然直视前方,同时通过调整眼动仪的仰角、测试者与眼动仪的水平距离等完成眼动仪校准(图3B),校准后可见图中两个白色的圆圈为测试者的瞳孔,右边色度条中的三角标识符处于色度条中间位置。启动测试界面,向参与者宣读并解释测试软件说明书及测试过程注意事项(图3C),参与者理解后正式进入测试。测试顺序先右眼,后左眼,受试眼接受测试时,非受试眼给予遮盖。首先参与者右眼注视中央固视点,保持固视状态后,30°视野内随机出现某刺激视标持续500 ms(图3D),若参与者察觉到该视标则向该视标移动视线,随后回到中央固视点,视为做出响应。无论参与者是否做出响应,刺激视标500 ms后自动消失,按上述方法进行下一位点的检查,直到30-2模式中所有76点出现完毕,后台自动记



图1 基于眼动的全自动反馈视野计设计 中央为主显示器,两侧为辅助显示器,可根据模拟程序的不同决定是否选用,下方眼动模块为 Tobii TX300 眼动仪。

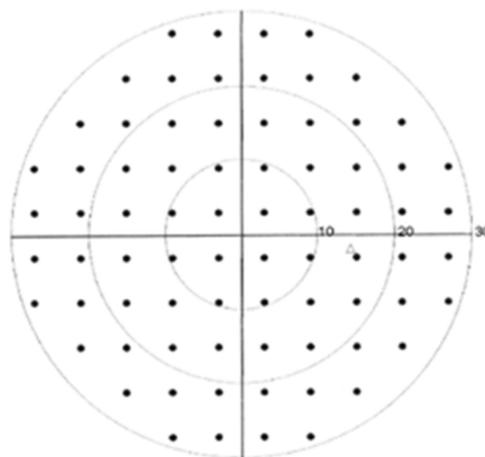


图2 中心 30-2 测试模式(右眼)。

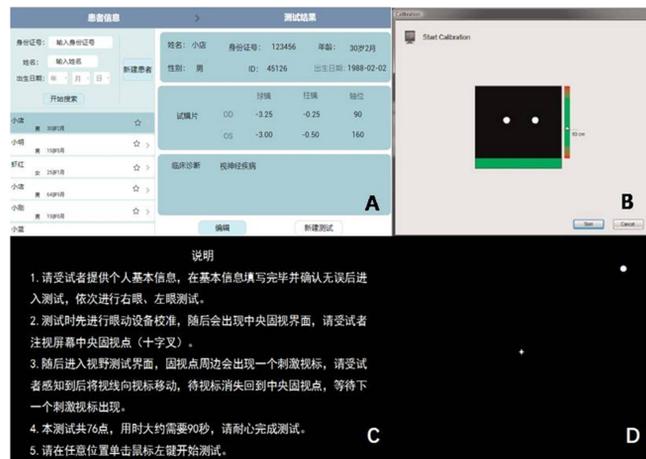


图3 基于眼动的全自动反馈视野计测试过程 A:参与者信息管理界面;B:眼动仪校准界面;C:测试说明界面;D:测试界面显示中央固视点及刺激视标。

录测试数据并纳入数据库以便进行数据分析。同样测试程序检测左眼。

统计学分析:采用统计学软件 SPSS22.0 进行分析,计量资料以均数 $\pm$ 标准差表示,采用配对样本 *t* 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 一般资料

本研究共纳入63名参与者,参与者年龄为19-26岁,男37名,女26名,共采集到119眼有效数据,其中右眼61眼,左眼58眼。

### 2.2 测试时长

所有参与者完成测试时间为65.40-124.90(平均 $82.46 \pm 14.68$ )s。右眼完成测试时间为66.00-124.90(平均 $88.21 \pm 15.30$ )s;左眼完成测试时间为65.40-102.40(平均 $76.42 \pm 11.29$ )s,右眼测试时长较左眼较长,差异有

统计学意义( $P<0.05$ ),见图4。

**2.3 测试情况** 纳入本研究的参与者均能够正确理解测试过程,其中57名参与者完成了双眼测试并获取双眼的有效数据,5名参与者完成了单眼测试并获取单眼的有效数据,1名参与者完成了单眼测试但未获取单眼的有效数据,见图5、6。

### 3 讨论

目前临床中常见的视野检查方法主要有对照法、平面视野计、弧形视野计、Goldmann 视野计、自动视野计,其中自动静态阈值视野计应用最为广泛<sup>[9-12]</sup>。以最常用的 Humphrey 视野计为例,检查过程需要参与者适应环境光线 5-10 min 后,固定头部并遮盖一眼,察觉到周围白光视

标闪烁时立即按下手中应答器。一般认为视野结果中固视丢失率、假阳性率及假阴性率 $<15\%$ 时结果可靠。流程相对复杂,易受到参与者、检查者主观因素影响,所以在临床使用中受到一定限制。从数字医学和医学大数据发展的角度来说,为了使视野检查实现人机自动交互,能够进行深入的数据分析,从而缩短检查时间,让检查过程更加简便、智能,同时降低检查硬件配置要求,使视野计变得便携、更易普及,在传统的检查方法中引入人工智能方法势在必行<sup>[13-16]</sup>。

眼动仪工作原理就是通过高分辨率的相机采集近红外光源下的眼部图像,从图像中提取瞳孔-角膜亮斑矢量(pupil-corneal reflection),输出为实际空间或平面上一系列的眼动序列点,从而准确地定位注视点位置<sup>[17-19]</sup>。眼部运动主要有三种形式:注视、跳动、平滑尾随跟踪<sup>[20]</sup>。眼动仪可以在以上三种眼球运动过程中,自动追踪眼球运动轨迹,分析用户视线扫描路径,从而实现人机交互,在参与者毫不知情的情况下自动、稳定地采集参与者眼动信息,能够明确探查参与者是否对某部分刺激物有反应、视线扫描路径及注视点所处的位置,从而尽量排除主观因素的影响<sup>[21-23]</sup>。英国爱丁堡大学项目组开发了扫视向量光动力学视野计(saccadic vector optokinetic perimetry SVOP),定位于对于儿童进行视野评估,采用了 $30^\circ$ 视野内40点测试模式,它利用眼动仪对参与者响应视标刺激而做出的自然的眼动反应进行记录,从而评估视野<sup>[24-27]</sup>。SVOP的出现证明在视野检查中引入眼动是可行的,但是它的测试模式比较适合儿童患有视路相关疾病及颅内肿瘤等半侧视野缺损疾病,对于青光眼等疾病效果仍有待观察<sup>[28-30]</sup>。

本研究利用家用计算机、显示器、眼动仪等硬件整合后,完成引入眼动的新型视野检查平台的搭建。经过软件开发,也实现了对 Humphrey 视野计中心 $30-2$ 测试模式( $30^\circ/76$ 栅格)的模拟,能够精准控制中央固视点、刺激视标出现时间、亮度、大小、位置、随机性等。在保证新型视野计与传统视野计具有相同的功能的同时,完成基于眼动的新型全自动反馈视野计软硬件的低成本、便携和数字化改造。使用自然交互方法精确捕捉参与者注视点所在位置及眼球运动轨迹,实现非接触、智能分析、全自动判别参与者视野情况,具备携带方便、调试准确、操作简单以及节约人力物力等优点,也能扩大视野检查适用人群,如儿童视野检查;降低检查场所要求,如在家中、床旁、非暗室条件下检查;对提高参与者使用体验等起到一定的积极作用。

本研究中,在被告知检查注意事项后,63名参与者均能够正确理解检查过程,57名参与者完成双眼的视野检查,5名参与者由于个人原因完成了单眼的检查,完成后反馈检查过程简单易行,容易理解和配合,检查过程及结果总体满意。有研究曾经做过统计,在正常人中 Humphrey 视野计测试时间平均为 $222.71\pm 39.17$  s,在青光眼患者中测试时间平均为 $281.38\pm 71.96$  s<sup>[9]</sup>,而本研究研发的视野计测试时间平均为 $82.46\pm 14.68$  s,119眼有效数据中,只有2眼测试过程超过120 s,较传统方法大大缩短了视野检查的时间。本研究中参与者左眼检查时间短于右眼检查时间,差异有统计学意义( $P<0.05$ ),可能是由于所有参与者均遵循了先右眼后左眼的检查顺序,在检查左眼时已经熟悉检查方法,操作更为熟练,更为节省时间。随着人们对视野检查重视度的不断提高,也有一些便携式

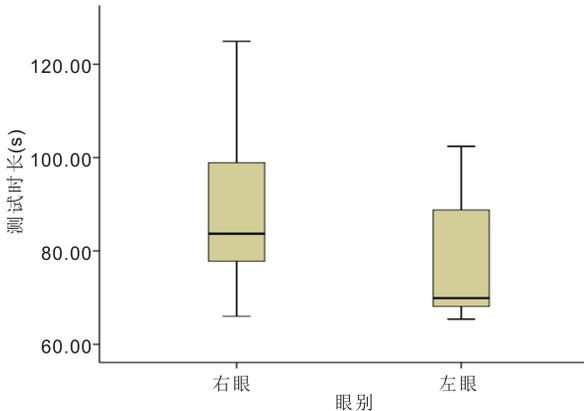


图4 箱线图表示双眼测试时长分布情况。

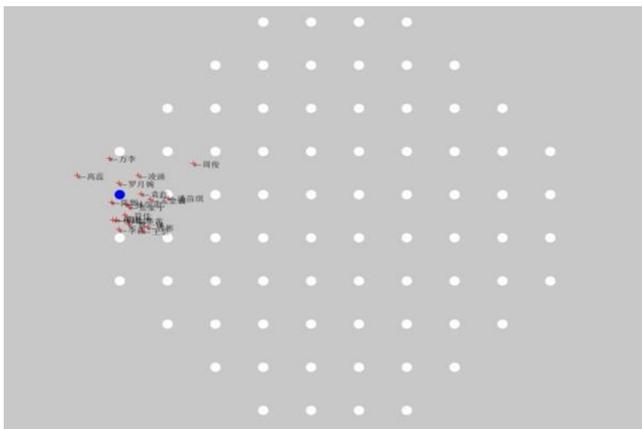


图5 参与者对视标感知情况 左眼中心 $30-2/76$ 栅格模式,蓝点为刺激视标,所有参与者对该刺激视标均可感知,视线落于刺激视标周边。

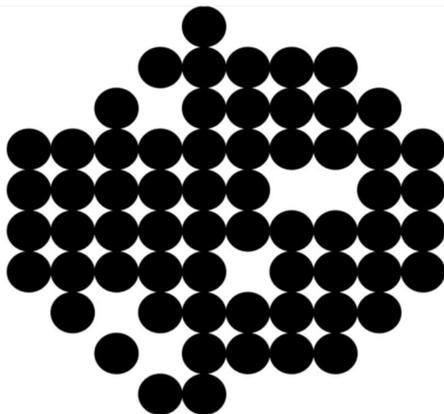


图6 一位参与者右眼视野检测结果 随机选择一名参与者,右眼中心 $30-2/76$ 栅格模式,黑点表示可感知到刺激视标,白色空缺处表示刺激视标未被感知到。

的视野计及软件被设计出来,如平板电脑视野测试(MRF),测试在9.7或12.9英寸的平板电脑上进行,虽然较好地解决了检查设备便携的问题,但是仍然存在测试视野范围较小,固视点易丢失等问题<sup>[9]</sup>。而本研究开发的视野计较好地解决了以上问题,能够完整模拟 Humphrey 视野计测试范围,固视点可自动反馈并调整。

本研究中,随机选择了一位参与者右眼视野检测结果(图6),在右眼中心30-2/76格栅模式下,该参与者感知到63个刺激视标,未感知到13个视标,其中位于中心区域的2个未感知的视标应为生理盲点,位于周边区域的9个未感知视标可能与参与者存在屈光不正,戴镜矫正视力后,镜框影响眼动仪对视线落点判定有关,另外位于中周边的2个未感知的视标有待于进一步检测分析。

本研究还存在一些不足之处:(1)本研究参与者样本量较小,且均为在校学生,理解能力、依从性较好,检查过程相对顺利、有效,下一步应在普通人群中扩大样本数量,了解本研究视野计是否适用于普通人群;(2)本研究对参与者按照先右眼后左眼顺序进行了一轮测试,尚不能判定该视野计检查结果是否具有良好的可重复性,下一步应进行多轮测试予以验证;(3)本研究视野计尚未与临床常用的 Humphrey 视野计检查结果进行对比,了解是否在疾病诊断中具有较好的相关性、一致性、敏感性、特异性和诊断效能,下一步应开展对照试验验证;(4)本研究视野计还有很多不完善之处,尚未与其他各种视野检查方法进行比较,从而改进检测平台搭建和软件设计,探求更为快速、有效、便捷的视野检查方法。

综上所述,尽管本研究仍存在不足之处,但初步论证了将眼动技术与家用计算机结合搭建新型全自动反馈视野计检测平台的可能性,完成对临床常用的全自动视野计检查模式的模拟,从而实现人机自动交互,使视野检查过程变的简单易行,缩短检查时间,提高参与者体验,甚至可以将视野计普及变为可能,在家中就可实时监测视野变化。

**利益冲突声明:**本文不存在利益冲突。

**作者贡献声明:**周凌霄论文选题与修改,初稿撰写,论文审核;赵丽丽文献检索,数据分析;郑秀娟数据采集,数据库搭建。所有作者阅读并同意最终的文本。

#### 参考文献

[1] 胡蓉蓉. 倍频视野计、短波长自动视野计和标准自动视野计监测青光眼视野损害进展效能的对比分析. 浙江大学, 2016.  
[2] WuDunn D, Takusagawa HL, Rosdahl JA, et al. Central visual field testing in early glaucoma: a report by the American academy of ophthalmology. *Ophthalmology*, 2024,131(2):240-248.  
[3] 牛灵芝. 青光眼患者随访管理的初步研究. 吉林大学, 2018.  
[4] Qian CX, Chen Q, Cun Q, et al. Comparison of the SITA Faster—a new visual field strategy with SITA Fast strategy. *Int J Ophthalmol*, 2021, 14(8):1185-1191.  
[5] Meethal NSK, Robben J, Mazumdar D, et al. Detection of visual field defects using eye movement pediatric perimetry in children with intracranial lesions: feasibility and applicability. *Heliyon*, 2022, 8(11):e11746.  
[6] Kumar H, Thulasidas M. Comparison of perimetric outcomes from Melbourne rapid fields tablet perimeter software and Humphrey field analyzer in glaucoma patients. *J Ophthalmol*, 2020,2020:8384509.  
[7] Takeda S, Oyama A, Nakajima T, et al. Ps-c01-12: early detection of dementia using ai-based eye-tracking technology. *J Hypertens*, 2023,41(Suppl 1):e181.  
[8] Ramirez-Tamayo C, Faruqui SHA, Martinez S, et al. Incorporation of eye tracking and gaze feedback to characterize and improve radiologist

search patterns of chest X-rays: a randomized controlled clinical trial. *J Am Coll Radiol*, 2024,21(6):942-946.

[9] 张娇. 平板电脑视野和 Humphrey 视野计检测 POAG 患者视野的对比研究. 昆明医科大学, 2019.  
[10] 乔春艳, 张慧, 赵爱萍, 等. 我国青光眼临床诊断方式基于微信的问卷调查. *眼科*, 2018,27(1):9-15.  
[11] 钟华, 钱朝旭. OCT 不能取代视野检查成为青光眼诊断和随访的新标准. *中华眼科杂志*, 2019,55(5):335-337.  
[12] Camp AS, Weinreb RN. Will perimetry be performed to monitor glaucoma in 2025? *Ophthalmology*, 2017,124(12):S71-S75.  
[13] Shi NN, Li J, Liu GH, et al. Artificial intelligence for the detection of glaucoma with SD-OCT images: a systematic review and meta-analysis. *Int J Ophthalmol*, 2024,17(3):408-419.  
[14] 马婧一. 人工智能在青光眼图像诊断中的应用. *中华实验眼科杂志*, 2020,38(5):438-441.  
[15] Armstrong GW, Lorch AC. A (eye): a review of current applications of artificial intelligence and machine learning in ophthalmology. *Int Ophthalmol Clin*, 2020,60(1):57-71.  
[16] Liu C, Wang LY, Zhu KY, et al. Systematic bibliometric and visualized analysis of research hotspots and trends on the application of artificial intelligence in glaucoma from 2013 to 2022. *Int J Ophthalmol*, 2024,17(9):1731-1742.  
[17] Molina AI, Navarro Ó, Ortega M, et al. Evaluating multimedia learning materials in primary education using eye tracking. *Comput Stand Interfaces*, 2018,59:45-60.  
[18] Jian YC. Reading behavior in science comics and its relations with comprehension performance and reading attitudes: an eye-tracker study. *Res Sci Educ*, 2023,53(4):689-706.  
[19] Shechner T, Jarcho JM, Wong S, et al. Threats, rewards, and attention deployment in anxious youth and adults: an eye tracking study. *Biol Psychol*, 2017,122:121-129.  
[20] 刘佳惠. 基于简化硬件系统的三维视线估计方法研究. 北京科技大学, 2021.  
[21] Traynor JM, Gough A, Duku E, et al. Eye tracking effort expenditure and autonomic arousal to social and circumscribed interest stimuli in autism spectrum disorder. *J Autism Dev Disord*, 2019,49(5):1988-2002.  
[22] Shadiev R, Li DD. A review study on eye-tracking technology usage in immersive virtual reality learning environments. *Comput Educ*, 2023,196:104681.  
[23] Gorczyca A, Tamborski S, Meina Michał, et al. Analysis of fixation patterns among glaucoma patients using a superfast eye tracking system. *Acta Ophthalmol*, 2024,102(S279).  
[24] Murray IC, Schmoll C, Perperidis A, et al. Detection and characterisation of visual field defects using Saccadic Vector Optokinetic Perimetry in children with brain tumours. *Eye*, 2018,32(10):1563-1573.  
[25] Murray IC, Perperidis A, Cameron LA, et al. Comparison of saccadic vector optokinetic perimetry and standard automated perimetry in glaucoma. part I: threshold values and repeatability. *Transl Vis Sci Technol*, 2017,6(5):3.  
[26] Tailor V, Glaze S, Unwin H, et al. Saccadic vector optokinetic perimetry in children with neurodisability or isolated visual pathway lesions: observational cohort study. *Br J Ophthalmol*, 2016,100(10):1427-1432.  
[27] Perperidis A, McTrusty AD, Cameron LA, et al. The assessment of visual fields in infants using saccadic vector optokinetic perimetry (SVOP): a feasibility study. *Transl Vis Sci Technol*, 2021,10(3):14.  
[28] Tatham AJ, Murray IC, McTrusty AD, et al. A case control study examining the feasibility of using eye tracking perimetry to differentiate patients with glaucoma from healthy controls. *Sci Rep*, 2021,11(1):839.  
[29] 董亚彬, 王大江. 青光眼患者眼动的研究进展. *解放军医学院学报*, 2022,43(10):1097-1102.  
[30] Tatham AJ, McClean P, Murray IC, et al. Development of an age-corrected normative database for saccadic vector optokinetic perimetry (SVOP). *J Glaucoma*, 2020,29(12):1106-1114.