

眼动生理特征及应用研究综述

姚益清¹ 文庭孝¹ 丘奂阳²

(¹ 中南大学生命科学学院生物医学信息学系 长沙 410013 ² 深圳市妇幼保健院 深圳 518000)

〔摘要〕 **目的/意义** 充分发挥眼动生理特征数据价值，丰富人体生理特征数据应用，为疾病诊断提供可靠生理数据，促进医疗健康事业发展。**方法/过程** 采用文献计量学和文献综述方法，检索中国知网和 Web of Science 数据库中相关文献，归纳眼动生理特征研究现状。**结果/结论** 从眼动生理特征理论、常用指标、记录方法、处理方法和主要应用领域 5 个方面分析眼动生理特征研究现状，并指出其不足。

〔关键词〕 眼动；眼动生理特征；医疗健康

〔中图分类号〕 R-058 **〔文献标识码〕** A **〔DOI〕** 10.3969/j.issn.1673-6036.2025.09.010

A Review of the Eye Movement Physiological Characteristics and Its Application

YAO Yiqing¹, WEN Tingxiao¹, QIU Huanyang²

¹ Department of Biomedical Informatics, School of Life Sciences, Central South University, Changsha 410013, China; ² Shenzhen Maternity & Child Healthcare Hospital, Shenzhen 518000, China

〔Abstract〕 **Purpose/Significance** To fully leverage the value of eye movement physiological characteristics data, and to enrich the application of human physiological characteristics data, so as to provide reliable physiological data for disease diagnosis, and promote the development of medical and health care. **Method/Process** By using bibliometrics and literature review methods, the relevant literatures in CNKI and Web of Science databases are retrieved to summarize the current status of eye movement physiological characteristic research. **Result/Conclusion** It analyzes the research status of eye movement physiological characteristics from five aspects: the theory of eye movement physiological characteristics, common indicators, recording methods, processing methods and main application fields, and points out its shortcomings.

〔Keywords〕 eye movement; eye movement physiological characteristics; medical and health

〔修回日期〕 2024-11-30

〔作者简介〕 姚益清，硕士研究生；通信作者：文庭孝，教授，博士生导师。

〔基金项目〕 国家社会科学基金项目（项目编号：22BTQ052）；湖南省社会科学基金智库专项重点项目（项目编号：19ZWB16）。

1 引言

随着数智赋能医疗卫生事业高质量发展，大数据、人工智能等新兴技术正在重塑传统的医药卫生模式，医学科学数据成为基础性和战略性资源^[1]。眼动作为人体重要的生理过程，其产生的生理特征数据蕴含着重要价值。

在眼动研究初期，受科学技术发展限制，只能依赖肉眼观察收集眼动生理特征数据。随着眼动追

踪技术的成熟,近 10 年眼动生理特征相关研究明显增加,眼动生理特征数据获得了更广泛的关注。本文总结国内外相关研究,从理论、常用指标、记录方法、处理方法和应用领域 5 个方面梳理眼动生理特征和应用现状。

2 眼动生理特征理论

在眼动生理特征理论研究中,眼动类型通常分为注视、眼跳和追随运动 3 种。注视是人眼对准某点的状态,眼睛相对稳定,以获取高质量的视觉信息。眼跳指眼球跳动,包括内源性和外源性两种,眼球平均每秒运动 3 次,伴注视点转移,指向感兴趣区域。追随运动是眼睛观察物体位置变化时,头不动而眼动的一系列行为,比眼跳更平稳。目前,眼动生理特征理论研究主要聚焦于两方面:一是眼动概念研究,如 Hessels R S 等^[2]从生理特征、功能、坐标系和计算定义 3 方面明确注视与扫视的不同;二是眼动原理探索,如 Krauzlis R J 等^[3]发现注视取决于上丘脑和小脑中后部的双侧活动。

3 眼动生理特征指标

3.1 瞳孔直径

眼动生理特征主要通过相关指标反映,包括瞳孔直径等。瞳孔直径数值反映大脑活动及心理变化,是检测脑力疲劳的有效指标。例如增加工作小时后,瞳孔直径会因疲劳而减小^[4]。此外,瞳孔也与部分病症相关。例如相较于非糖尿病患者,糖尿病患者的瞳孔直径一般会更小^[5]。

3.2 注视相关指标

注视是眼睛保持相对静止的眼动行为,一般持续 200~300 毫秒。常用注视指标包括注视点数量、注视次数、注视时长等,可用于解释注意力和兴趣偏好。注视次数可用于反映人对该区域的兴趣度及熟悉度;注视时长反映兴趣程度或信息接收处理能力^[6-7]。

3.3 扫视相关指标

扫视是一种信息搜索行为,指两个注视点间的眼部快速运动。扫视指标可反映人的认知情况,在认知障碍相关疾病(如阿尔茨海默病、帕金森病)诊断中,可以根据患者的扫视指标评估其认知功能^[8]。例如,扫视范围反映搜索广度,扫视速度和扫视加速度反映信息处理能力。疲劳或工作负荷增强时,扫视速度下降。扫视轨迹是注视点及其移动的路线图,反映眼动空间特征。不同视觉搜索策略对应不同的扫视轨迹,有位置提示时,搜索绩效较好^[9-10]。

3.4 眨眼相关指标

人眨眼时眼睑快速开闭,产生短暂“盲”状态。目前,眨眼频率已被确定为认知加工的可靠指标和多巴胺相关认知功能的预测指标,工作强度增加致疲劳时,增加眨眼频率以缓解疲劳。因此,眨眼指标可用于疲劳检测,判断被观察者的疲劳状态和程度^[11-12]。此外,眨眼评估或可成为帕金森病的诊断依据^[13]。

3.5 眼跳相关指标

眼跳是眼睛在两个注视点间的快速移动,相关指标可作为视觉搜索研究的参考,相较于扫视,眼跳的突发性更强,主要与注意力转换相关。因此,眼跳可用于反映大脑的感觉运动过程和认知功能。以眼跳距离指标为例,可用于反映阅读知觉广度。眼跳距离越大,一次注视获取的信息量越大,可用于阅读能力测量^[14]。眼跳特征还可作为单双相抑郁障碍的诊断依据^[15]。

3.6 回视相关指标

回视是对已注视区域再次返回的行为,体现问题发现能力,常用指标有回视次数、回视大小、回视距离等。例如,回视次数可衡量精神障碍患者的认知负荷情况^[16]。刑事案件中,作案人员多次回视处通常与关键信息相关。但该指标易受其他因素影响,一般仅作为辅助指标^[17]。

4 眼动生理特征记录方法

传统眼动生理特征记录方法比较简单,主要有观察法和机械法两种。观察法用肉眼直接观察,包括直接观察法、窥视孔法和后象法,但误差较大。机械法通过头部支点杠杆法、气动方法、角膜吸附环状物法等将眼睛与记录装置相连。其中角膜吸附环状物法是在眼角膜处吸附环状薄片,通过眼部运动带动与环状薄片相连的记录笔,在运动的纸带上记录眼动轨迹模式曲线,误差较观察法小很多,但对人眼侵入性较强。

随着眼动研究的深入,涌现出 3 类新的记录方法。一是电流记录法,主要为眼电图法,通过转换眼电信号记录眼电生理特征数据。将电极放置在眼周即可采集,较为便利,但要避免电极不稳造成数据丢失。二是电磁记录法,将线圈包埋后放置在邻近角膜的巩膜上,通过电磁感应记录眼动生理特征数据。虽然线圈包埋技术显得更友好,但仍有一定侵入性,使用时要关注被观察者的感受。三是光学记录法,目前运用最广泛,包括角膜反射法、红外光角膜反射法等,将光源投射到眼球上,利用角膜或虹膜反射的光线完成记录,许多眼动仪基于此原理制作。这 3 类方法收集的眼动数据准确度大幅提升,对人眼侵入性相对较低。为进一步提升眼动测量精准度和设备使用舒适度,学者^[18-22]正在积极探索和改进眼动生理特征记录方法,如将眼电与其他生物电结合、缩小电磁记录法中的线圈等。

5 眼动生理特征处理技术

在眼动仪等眼动记录仪器诞生前,眼动生理特征研究困难,相关研究较少。为提高眼动实验的准确性与科学性,出现了一系列眼动生理特征数据处理技术和设备,主要包括以下 3 类。一是结合算法优化数据处理,如与双均值聚类、自适应神经模糊推理系统等结合,提高自动识别与分类的效率和准确率^[23-24]。二是结合其他方法探索新记录方法,如结合数据处理方法识别眼动类型、获取注视

点^[25],结合行列定位法和阈值质心法实现瞳孔粗定位与精定位,结合瞳孔-注视点二阶映射关系,实现注视点轨迹的描述^[26]。三是探索特定应用领域的专门方法,如将单词识别与眼动行为相结合,构建进一步了解人类阅读行为的 OB1-reader 模型^[27]。

6 眼动生理特征应用

6.1 基础医学研究

眼动生理特征有助于疾病基础研究。例如,失语症患者的眼动轨迹和眼球运动信息可以反映其信息加工和词句处理模式;自杀倾向者面对不同情绪词汇时的注视点和总注视时间可以反映其注意偏向和加工机制;孤独症患儿观察并模仿图片呈现动作时的观察时间及时间占比与正常儿童存在显著差异,表明动作观察缺陷是该病患儿的典型特征之一^[28-30]。

6.2 临床诊断与疾病治疗

眼动生理特征可为神经系统疾病和精神疾病的临床诊断与治疗提供依据。例如,在抑郁障碍和双相情感障碍临床诊断中^[31],将眼动追踪技术与机器学习算法、基于内容的集成方法或深度学习算法等相结合后,可以更好地区分健康个体和抑郁患者,有效提高情感障碍的诊断效率。在帕金森病患者临床治疗过程中^[32],患者无法准确表达意愿,但该类患者在阅读时的扫视、注视点等眼动生理特征数据与健康个体存在差异,且该差异与帕金森病的 MoCA 评分相关,未来可借助眼动仪对该疾病患者进行辅助治疗。

6.3 医学教育与培训

随着信息化教育的兴起,眼动生理特征也开始应用于医学教育与培训领域。以外科医学教育为例,眼动分析正逐渐应用于微创手术考核与培训等环节:一是外科新手通过学习专家的眼动轨迹,可以更快明白学习的重点;二是通过计算外科医生在 3D 手术模式下的视线变化和凝视轨迹,可以反映其操作的薄弱环节;三是在技能评估时,外科专家与新手的注视模式差异较大,可以将眼动数据作为外

科技水平的评价标准之一^[33]。

7 结语

眼动是人的重要行为, 蕴含丰富的心理活动和行为特征, 系统研究其类型、测量指标、记录方法、处理技术有助于揭示其生理特征规律。眼动行为复杂, 国内眼动生理特征研究虽取得进展, 仍存在以下问题: 一是指标种类多且无统一标准, 如学术界对“注视时间”和“注视持续时间”两个指标就没有形成统一的认识; 二是记录方法不统一, 不同眼动仪对同一指标的观察数据存在差异, 影响研究结果; 三是应用有待深化, 部分实验仅记录眼动特征, 忽略心理和行为分析, 且多使用注视指标, 眨眼等其他指标应用不足。随着学术界对眼动生理特征研究的重视程度不断提高, 以及新方法、新技术不断出现, 眼动生理特征及其应用研究将取得更多新进展。

作者贡献: 姚益清负责文献调研、论文撰写; 文庭孝负责研究设计、论文审核; 丘奂阳负责提供修改意见。

利益声明: 所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- 1 胡彬. 医学信息学创新发展开启智能时代 [N]. 健康报, 2025-01-15 (5).
- 2 HESSELS R S, NIEHORSTER D C, NYSTROM M, et al. Is the eye - movement field confused about fixations and saccades? A survey among 124 researchers [J]. Royal society open science, 2018, 5 (8): 180502.
- 3 KRAUZLIS R J, GOFFART L, HAFED Z M. Neuronal control of fixation and fixational eye movements [J]. Philosophical transactions of the royal society b - biological sciences, 2017, 372 (1718): 20160205.
- 4 靳慧斌, 于桂花, 刘海波. 瞳孔直径检测管制疲劳的有效性分析 [J]. 北京航空航天大学学报, 2018, 44 (7): 1402 - 1407.
- 5 秦小丽. 糖尿病患者散瞳后瞳孔直径的观察 [J]. 齐齐哈尔医学院学报, 2013, 34 (14): 2069.
- 6 梁菲菲, 王永胜, 杨文, 等. 阅读水平调节儿童阅读眼动注视模式的发展: 基于 9 ~ 11 岁儿童的证据 [J]. 心

理学报, 2017, 49 (4): 450 - 459.

- 7 ARSIWALA - SCHEPPACH L T, CASTNER N, ROHRER C, et al. Gaze patterns of dentists while evaluating bitewing radiographs [EB/OL]. [2024 - 04 - 27]. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104585>.
- 8 LENG Q, DENG B, JU Y. Application and progress of advanced eye movement examinations in cognitive impairment [EB/OL]. [2024 - 04 - 27]. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2024.1377406>.
- 9 吴晓莉, GEDEON T, 薛澄岐, 等. 影响信息特征搜索的凝视/扫视指标与瞳孔变化幅度一致性效应比较 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2019, 31 (9): 1636 - 1644.
- 10 刘楠博, 肖芬, 张文雷, 等. 基于注视兴趣区域聚类 and 转移的群体扫视路径生成 [J]. 计算机应用, 2021, 41 (1): 150 - 156.
- 11 高宁, 王兴元, 王秀坤. 基于眼动序列分析的眨眼检测 [J]. 计算机工程与应用, 2019, 55 (8): 40 - 47.
- 12 卫兵, 王则灵, 李宜兵. 眨眼与哈欠提取新方法及其适用性研究 [J]. 计算机工程与应用, 2019, 55 (7): 168 - 174.
- 13 VASUDEVAN V, SALARDAINE Q, RIVAUD - PÉCHOUX S, et al. Revisiting eye blink in Parkinson's disease [J]. Scientific reports, 2025, 15 (1): 10751.
- 14 康廷虎, 张会. 场景知觉中的眼动分析指标: 基于注视和眼跳视角 [J]. 心理科学, 2020, 43 (6): 1312 - 1318.
- 15 韩警山, 栗克清, 史文佳, 等. 眼跳实验范式在单双相抑郁鉴别中的可行性研究 [J]. 心理月刊, 2023, 18 (9): 224 - 227.
- 16 惠遥, 张亚娟, 苗丹民, 等. 人格测验中社会赞许性对精神障碍患者的影响 [J]. 职业与健康, 2018, 34 (8): 1094 - 1098.
- 17 杨帆, 隋雪, 李雨桐. 中文阅读中长距离回视引导机制的眼动研究 [J]. 心理学报, 2020, 52 (8): 921 - 932.
- 18 UMRAIYA A. Design of miniaturized coil system using MEMS technology for eye movement measurement [D]. Quebec: McGill University, 2009.
- 19 SHUPERT C, FUCHS A F. Development of conjugate human eye movements [J]. Vision research, 1988, 28 (5): 585 - 596.
- 20 JOYCE C A, GORODNITSKY I F, KING J W, et al. Tracking eye fixations with electroocular and electroencephalographic recordings [J]. Psychophysiology, 2002, 39 (5): 607 - 618.

(下转第 78 页)

参考文献

1 王耀国, 李鹏, 刘迷迷, 等. 临床专病数据库建设现状与思考 [J]. 医学信息学杂志, 2024, 45 (3): 65-69.

2 任明飞, 李学军, 崔蒙蒙, 等. 基于 MongoDB 的非关系型数据库的设计与开发 [J]. 电脑知识与技术: 学术版, 2019, 15 (34): 1-2.

3 杨雨冰, 郭超, 姜会珍, 等. 人工智能辅助肺癌数据库构建 [J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2025, 32 (2): 167-174.

4 王若茗, 凡豪志, 张军霞, 等. 神经胶质瘤专病科研数据库建设与应用 [J]. 中国数字医学, 2022, 17 (4): 12-18.

5 王拥军, 李子孝, 谷鸿秋, 等. 中国卒中报告 2020 (中文版) (1) [J]. 中国卒中杂志, 2022, 17 (5): 433-447.

6 QARYOUTI D, GREENE - CHANDOS D. Neurocritical care aspects of ischemic stroke management [J]. Critical care clinics, 2023, 39 (1): 55-70.

7 NEWCOMBE V, MUEHLSCHLEGEL S, SONNEVILLE R. Neurological diseases in intensive care [J]. Intensive care medicine, 2023, 49 (8): 987-990.

8 相景丽. MySQL 数据库技术在校园信息管理中的应用研究 [J]. 信息记录材料, 2025, 26 (3): 104-106.

9 SAUER C M, DAM T A, CELI L A, et al. Systematic review and comparison of publicly available ICU data sets - a decision guide for clinicians and data scientists [J]. Critical care medicine, 2022, 50 (6): e581.

10 王谷宜, 黎家琦, 钟燕军, 等. 基于智慧 ICU 云平台的 ARDS 集束化管理对 ARDS 患者临床结局的影响 [J]. 中华重症医学电子杂志, 2025, 11 (1): 72-77.

11 齐霜, 毛智, 胡新, 等. 基于专科信息系统建立的重症医学数据库: 大型三甲医院重症医学数据库的模式 [J]. 中华危重病急救医学, 2020, 32 (6): 743-749.

12 雷若逍, 王瑞康, 汪帅涛, 等. 国产达梦数据库在水电站管理运行中的应用 [J]. 水电与新能源, 2024, 38 (12): 58-60.

13 吴业毅, 苏良波, 黄秋红, 等. 基于适配某型国产数据库的医院信息系统改造实践 [J]. 中国数字医学, 2025, 20 (2): 46-49.

14 肖驭文. Oracle 数据库向国产数据库迁移的技术分析 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2024, 36 (7): 149-151.

15 姚克, 崔宇, 何伟栗, 等. 高实时国产数据库数据同步共享 [J]. 无线互联科技, 2025, 22 (1): 102-107.

16 裴立公. 国产数据库替代国外数据库演化过程分析 [J]. 金融科技时代, 2023, 31 (4): 94-97.

17 张智祥, 许凌峰, 梁洁波. 发展自主可控数据库 筑牢国家安全基石 [J]. 中国经济报告, 2024 (2): 157-163.

(上接第 71 页)

21 SPRENGER A, NEPPERT B, KOESTER S, et al. Long-term eye movement recordings with a scleral search coil - eyelid protection device allows new applications [J]. Journal of neuroscience methods, 2008, 170 (2): 305-309.

22 CHAUDHARY A K, PELZ J B. Motion tracking of iris features to detect small eye movements [J]. Journal of eye movement research, 2019, 12 (6): 4.

23 HESSELS R S, NIEHORSTER D C, KEMNER C, et al. Noise - robust fixation detection in eye movement data: identification by two - means clustering (I2MC) [J]. Behavior research methods, 2017, 49 (5): 1802-1823.

24 DONG W, YANG L, GRAVINA R, et al. ANFIS fusion algorithm for eye movement recognition via soft multi - functional electronic skin [EB/OL]. [2024 - 11 - 01]. https://doi.org/10.1016/j.inffus.2021.02.003.

25 LIU B, ZHAO Q, REN Y, et al. An elaborate algorithm for automatic processing of eye movement data and identifying fixations in eye - tracking experiments [J]. Advances in mechanical engineering, 2018, 10 (5): 1-15.

26 梁梦颖, 吕钊. 基于眼动视频的注视点轨迹描述方法及应用 [J]. 安徽大学学报 (自然科学版), 2021, 45 (1): 26-34.

27 SNELL J, VAN LEIPSIG S, GRAINGER J, et al. OB 1 - reader: a model of word recognition and eye movements in text reading [J]. Psychological review, 2018, 125 (6): 969-984.

28 汪彩红, 李慧, 李书航, 等. 自杀倾向者对情绪词汇的注意偏向: 基于眼动的证据 [J]. 中国临床心理学杂志, 2023, 31 (2): 274-278.

29 MORAN A, CAMPBELL M, RANIERI D. Implications of eye tracking technology for applied sport psychology [J]. Journal of sport psychology in action, 2018, 9 (4): 249-259.

30 高媛媛, 刘智妹, 何亚平, 等. 孤独症谱系障碍儿童动作模仿及眼动特征 [J]. 中国心理卫生杂志, 2023, 37 (1): 30-34.

31 林健森, 吴晓慧, 陈俊, 等. 眼动追踪技术在心境障碍全病程评估中应用的研究进展 [J]. 神经疾病与精神卫生, 2024, 24 (9): 674-680.

32 WALDTHALER J, TSITSI P, SEIMYR G O, et al. Eye movements during reading in Parkinson's disease: a pilot study [J]. Movement disorders, 2018, 33 (10): 1661-1662.

33 潘琳, 段晓琴. 眼动仪在外科医学教育中的应用及进展 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2023, 4 (1): 74-78.