

# 视频眼动仪系统测量的精确度及不同红外照明强度的影响

张李娜 史学锋 赵堪兴

**【摘要】** 背景 目前 EyeLink 2000 视频眼动仪眼动仪系统已用于临床检测,视频眼动仪系统精确度是衡量眼动仪检测能力的基本参数,但关于视频眼动仪系统精确度的研究目前在中国尚属空白。目的 测量视频眼动仪系统精确度,并探讨不同红外照明强度对视频眼动仪系统精确度的影响。方法 采用 EyeLink 2000 视频眼动仪对一人工眼进行检测。将人工眼固定于检测位,在暗室(1 lx 室内照明度)下分别于 100%、75%、50% 红外照明强度下持续记录人工眼的眼动波形,双眼采样频率为 1 000 Hz,每次记录持续 60 s,以数据点间角距离的均方根值(RMS)计算系统精确度,比较不同红外照明强度下 RMS 的变化。结果 红外照明强度为 100% 条件下测得眼动仪系统精确度最高,为(0.005 01±0.000 20)°。随着红外照明强度的下降,测得的 RMS 值逐渐增加,总体比较差异有统计学意义( $F=3\ 791.447, P<0.01$ )。组间两两比较差异均有统计学意义(均  $P<0.05$ )。结论 EyeLink 2000 视频眼动仪在测量眼球运动时具备较高的系统精确度,视频眼动仪红外照明强度可影响其系统精确度。

**【关键词】** 眼球运动/诊断; 红外线; 视知觉/生理; 人工眼; 视频眼动仪/方法

**The system precision measurement of the video eye tracker and the impact of different infrared intensities on it** Zhang Lina, Shi Xuefeng, Zhao Kanxing. Tianjin Key Laboratory of Ophthalmology and Visual Science, Tianjin Eye Institute, Tianjin Eye Hospital, Tianjin Medical University, Tianjin 300020, China  
Corresponding author: Zhao Kanxing, Email: zhx4260@vip. 163. com

**[Abstract]** **Background** EyeLink 2000 high speed video eye tracker has been used in ophthalmology to evaluate the ocular movement ability. Its systemic precision depends on the performance of the eye tracker, and it is also an essential parameter for the evaluation of the data quality. Therefore, the impact of infrared intensity should be illustrated. **Objective** This study was to assess the systemic precision of the video eye tracker and evaluate the impact of infrared intensity on the result. **Methods** The EyeLink 2000 high speed video eye tracker and a pair of artificial eyes were used in this study. Firstly the artificial eyes were fixed to the corresponding position as the real human eyes. Each session of recording was undertaken under the different infrared intensities (100%, 75% and 50%). The sampling frequency of binocular recording was set as 1 000 Hz. Each session was sequentially recorded for 60 seconds. The systemic precision was calculated as the root mean square (RMS) of angular distances between successive data points. The RMS values under the different infrared intensities were compared. **Results** The highest RMS values were (0.005 01±0.000 20)° under the 100% infrared intensity. As the decline of infrared intensities, RMS values were gradually raised, showing a significant difference among different infrared intensity groups ( $F=3\ 791.447, P<0.01$ ). The differences were also significant between different groups (all at  $P<0.05$ ). **Conclusions** EyeLink 2 000 video eye tracker has good system precision. The infrared intensity influence the system precision of the video eye tracker.

**[Key words]** Eye movements/diagnosis; Infrared rays; Visual perception/physiology; Artificial eyes; Video eye tracker/method

DOI:10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2015. 12. 014

基金项目:国家自然科学基金重点项目(30730099、81371049);国家自然科学基金青年基金项目(81100694);天津市自然科学基金项目(11JCYBJC12700);天津市卫生局科技项目(2010KY16)

作者单位:300020 天津市眼科医院 天津市眼科学与视觉科学重点实验室 天津市眼科研究所 天津医科大学眼科临床学院

通信作者:赵堪兴, Email: zhx4260@vip. 163. com

视频眼动仪是一种无创性追踪并记录眼球运动轨迹的设备,目前广泛用于神经科学、心理学、航天医学、广告学等领域。在眼科学和视觉科学领域,关于微扫视运动的研究逐渐成为热点,而由于微扫视幅度较小,从而在客观上需要更加精密的设备对其进行追踪记录。在此过程中,视频眼动仪的优势逐渐显现。近年来国外采用视频眼动仪对弱视<sup>[1-2]</sup>、斜视<sup>[3]</sup>和屈光不正眼<sup>[4]</sup>的微扫视运动进行了精确的记录和量化描述。视频眼动仪的系统精确度直接影响相关研究结果的可靠性,但关于系统精确度的研究却鲜有报道。视频眼动仪系统精确度是衡量眼动仪数据质量的主要指标,反映了视频眼动仪在测量眼球空间位置时系统本身的噪声水平,直接关系到眼动仪对眼球位置变化的分辨能力。Eyelink 2000 视频眼动仪为高速的无创性眼动记录设备,中国虽已有广泛应用,但尚未有系统精确度评估的研究报告。本研究拟通过研究 Eyelink 2000 视频眼动仪的系统精确度并观察红外照明强度改变对测量结果的影响,旨在了解 Eyelink 2000 视频眼动仪的系统精确度并探讨红外照明强度的影响程度,以期视频眼动仪在眼科和视觉科学研究中的正确应用提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

EyelinK 2000 视频眼动仪、标准人工眼(加拿大 SR Research 公司)。

### 1.2 方法

**1.2.1 眼动数据记录** 删除主试机系统中人眼视频眼动图检查的校准和验证数据;根据加拿大 SR Research 公司提供的 EyelinK 视频眼动仪使用手册,测量被试机显示器与人工眼的距离,据此调整主试机系统中相关参数,调整摄像机位置,使其距离人工眼 50 cm,将人工眼固定在与人工眼检测时相同的位置,使其在主试机显示器上所显示的被摄录的双眼图像处于垂直正中位置,双眼对称处于垂直虚线两侧,然后将红外照明强度调至 100%,在暗室(1 lx 照明度)条件下调整每只人工眼的瞳孔和角膜反射阈值,使“十字”清晰稳定呈现。此时即可开始记录人工眼的眼动波形,持续记录 60 s。按同样方法将红外照明强度分别调至 75% 和 50%,重复上述步骤。每次记录前均需通过摄像机自动阈值设定功能调整每只人工眼的瞳孔阈值和角膜反射阈值,以使“十字”清晰稳定呈现(图 1)。

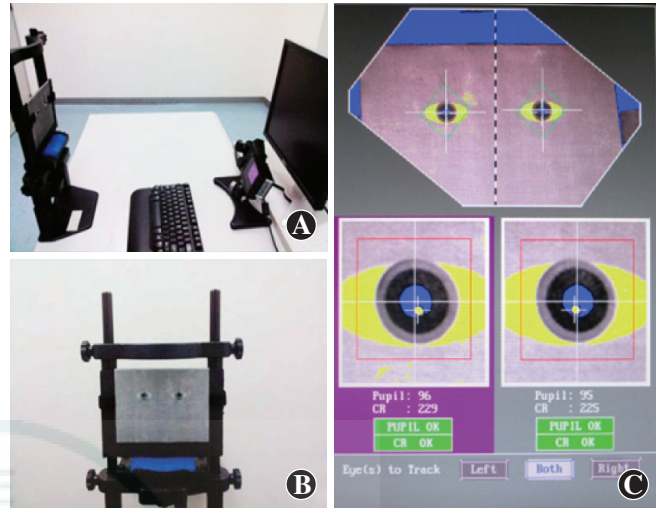


图 1 使用人工眼测量视频眼动仪系统精确度 A:人工眼与摄像机及被试机屏幕的放置;B:人工眼固定于人眼检测时相一致的位置;C:主试机屏幕中双眼“十字”均清晰稳定呈现,瞳孔及角膜反射信号获取状态良好

**1.2.2 数据处理与系统精确度测量** 根据 EyeLink 视频眼动仪使用手册中提供的方法,视频眼动仪记录的原始数据为摄像机采集到的双眼所注视的屏幕坐标位置(X 和 Y 分量,单位为像素)、X 和 Y 分量角分辨率(单位为像素/度)以及每个采样点的时间。采用 DataView 软件(加拿大 SR Research 公司)导出眼动数据,利用 EXCEL 编辑公式,将原始数据转换为以角度为单位的数据资料(图 2A、B)。根据 EyeLink 视频眼动仪使用手册,系统精确度以相邻样本间角距离的均方根值(root mean square, RMS)(公式 1)表示,取双眼系统精确度的平均值为最终结果。每相邻 600 个数据点(600 ms)计算一次 RMS,每组记录(60 s)可获得 100 个 RMS 值,且呈正态分布(图 2C)。

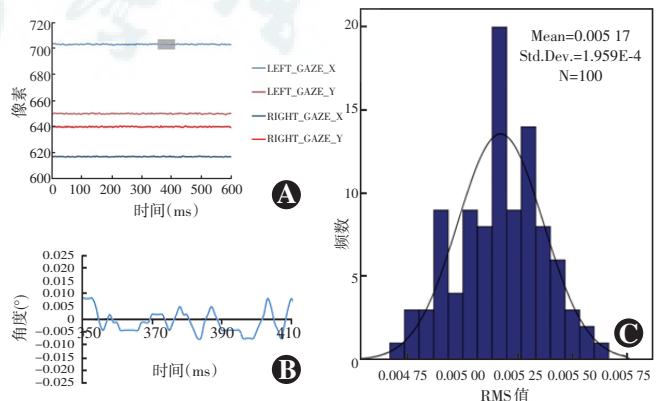


图 2 人工眼眼动数据及其 RMS 值的分布 A:100% 红外照明强度下人工眼双眼 X 和 Y 分量眼动波形曲线 B:将 A 中阴影部分数据进行转换(单位由像素转换为角度)后所呈现的眼动波形 C:100% 红外照明强度下 RMS 值的分布及其分布曲线

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_i^2} = \sqrt{\frac{\theta_1^2 + \theta_2^2 + \dots + \theta_n^2}{n}} \dots\dots\dots (1)$$

其中,  $\theta_i$  指  $(X_i, Y_i)$  和  $(X_{i+1}, Y_{i+1})$  之间的角距离。

### 1.3 统计学方法

采用 SPSS 17.0 统计学软件进行统计分析。本研究的数据资料经 Kolmogorov-Smirnov 检验后证实均呈正态分布,以  $\bar{x} \pm s$  表示,各组间均值经 Levene 检验证实方差齐。3 种水平红外照明强度之间系统精确度差异采用单因素方差分析进行比较,组间两两比较采用 SNK 检验。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 视频眼动仪系统精确度的测量

3 种红外照明强度下人工眼眼动数据 RMS 均值均小于  $0.009^\circ$  (图 3), 最大值均小于  $0.015^\circ$ 。100% 红外照明强度条件下测得 RMS 值最小, 为  $(0.005 01 \pm 0.000 20)^\circ$ 。

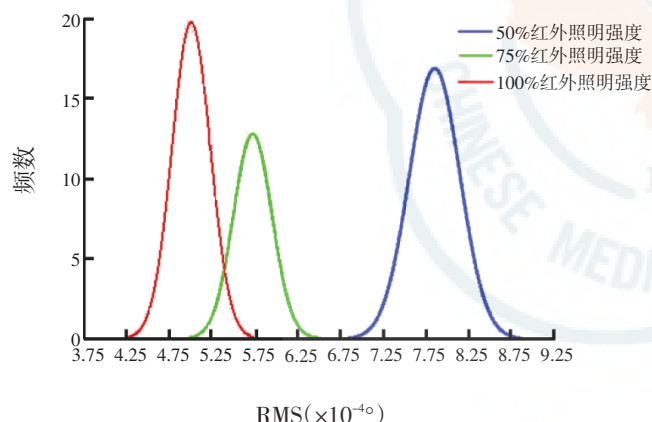


图 3 3 种红外照明强度系统精确度 RMS 的分布曲线

### 2.2 红外照明强度对视频眼动仪系统精确度的影响

研究结果显示,3 种红外照明强度下视频眼动仪系统精确度总体比较差异有统计学意义 ( $F = 3 791.447, P < 0.01$ ) (见表 1)。3 种红外照明强度间两两比较差异均有统计学意义 (均  $P < 0.05$ )。

表 1 三种红外照明强度下测得的视频眼动仪系统精确度 RMS 值的比较 ( $\bar{x} \pm s, ^\circ$ )

组别	RMS 值
100% 红外照明强度组	$0.005 01 \pm 0.000 20$
75% 红外照明强度组	$0.005 74 \pm 0.000 21^a$
50% 红外照明强度组	$0.007 85 \pm 0.000 30^{ab}$
F	3 791.447
P	0.000

注:RMS:均方根值 与 100% 红外照明强度组比较, <sup>a</sup> $P < 0.05$ ; 与 75% 红外照明强度组比较, <sup>b</sup> $P < 0.05$  (单因素方差分析, SNK 检验,  $n = 100$ )

## 3 讨论

近十年来,视频眼动记录技术获得突飞猛进的发展,随着其采样频率及采样精度的不断提高,其应用领域也愈加广泛。和以往传统的眼动记录技术相比,视频眼动记录技术不具有侵入性,无需借助任何眼部植入物,不会造成被检者眼部不适<sup>[5-9]</sup>,其检测精确度远高于眼电图 (electrooculogram, EOG),同时较巩膜线圈记录法更为简便易行,因而在眼球运动追踪研究领域受到越来越多的关注。

无论是 EOG 或巩膜线圈系统还是视频眼动仪,任何眼动记录设备在记录过程中都会存在噪声,包括人眼生理性非自主性微细眼球运动和眼动仪系统固有噪声 2 个方面。眼动仪的系统精确度测量的理想方法需要在眼球完全静止不动时予以测量,以排除人眼注视过程中仍存在的微细眼球运动对测量结果的影响,然而人眼生理性的眼球运动无法完全避免。目前测量眼动仪系统精确度的最佳方法是采用能够被视频眼动仪高速摄像机捕捉的人工眼进行实验。采用人工眼进行精确度测量完全排除了人眼生理性微细运动所带来的干扰,实验所得结果反映眼动仪系统固有噪声的大小,即系统精确度,这也是国际注视交流交互技术委员会 (The COGAIN Technical Committee) 提出的测量系统精确度的标准技术方法。

在眼科学与视觉科学研究中,巩膜线圈记录法因其具有较高的时间分辨率 (约 1 000 Hz) 和较高的系统精确度 (约  $0.01^\circ$ ),被认为是眼动记录技术领域的金标准。但也有学者对其记录结果的可靠性提出质疑,原因是巩膜线圈与眼球的接触可能影响眼动的幅度<sup>[10]</sup>。当今的视频眼动记录技术在时间分辨率和系统精确度方面已完全与巩膜线圈记录法相当,然而由于在技术原理上视频眼动记录技术依赖于红外成像质量,后者又受到红外照明强度的影响,因此记录条件的差异可能影响视频眼动仪的系统精确度。测量视频眼动仪的系统精确度,系统地了解相关因素对系统精确度的影响对于掌握视频眼动数据的可靠程度,并根据实际情况合理设定检查或实验的条件具有重要意义。本研究结果显示 EyeLink2000 视频眼动仪具有较高的系统精确度,在最佳红外照明强度下的系统精确度  $(0.005 01 \pm 0.000 20)^\circ$  甚至优于巩膜线圈系统。最近, Kimmel 等<sup>[5]</sup> 在恒河猴上同时采用了 EyeLink2000 视频眼动仪和巩膜线圈系统进行记录,发现 2 种记录系统对扫视运动和注视性眼球运动的检测结果具有广泛的一致性。结合本项研究结果,我们认为目前视频

眼动记录技术在合适的实验条件下(足够的红外照明强度)可作为眼动记录的新的金标准予以推广。本研究中发现红外照明强度可显著影响视频眼动仪的系统精确度,红外照明强度越高,视频眼动仪系统精确度越好,反之越差。因此,建议在使用视频眼动仪进行相关检查或实验时,应事先测定其实际条件下的系统精确度;操作过程中应使用较高的红外照明强度,以提高系统精确度;在数据分析过程中,低于系统精确度水平的测量数据应被视为无效数据予以剔除,从而增强研究结果的可靠性。

近年来,注视性眼球运动的研究逐渐成为热点。注视性眼球运动进一步分为微扫视、漂移和颤动 3 种成分<sup>[10-12]</sup>,随着对这 3 种成分的特征与功能越来越深入的研究和了解,人们逐渐把研究的目光聚集在微扫视眼球运动上。目前多数学者倾向于认为微扫视幅度的上限阈值为 $1^\circ$ ,多集中在 $30'$ 以下<sup>[12-13]</sup>,这就要求人们在记录微扫视眼球运动时需要更精密、更准确的设备和方法。20 世纪 70 年代以来,已有多位国内外学者发现弱视、斜视和屈光不正眼与正常眼微扫视的运动特征存在显著差异,并有学者对传统意义上弱视眼的治愈概念提出了新的挑战<sup>[11]</sup>。

具有较低系统精确度的视频眼动仪可导致微扫视眼球运动记录的部分缺失与混淆,更高的系统精确度则意味着对微扫视眼球运动具有更可靠的检测能力,并通过记录的发生频率、幅度及方向的不同将其与漂移和颤动进行准确甄别,这对于发现诸如弱视、斜视<sup>[14]</sup>、屈光不正<sup>[4,15]</sup>等视觉改变以及黄斑病变<sup>[16-20]</sup>等眼科疾病所造成的肉眼无法观察的细微眼球运动功能改变具有重要临床和研究意义。

需要指出的是,虽然 COGAIN 委员会提出了视频眼动仪系统精确度测量的方法,并获得多数眼动研究领域专家的认可,但系统精确度测量中所使用的人工眼的设计还缺乏统一标准。有研究显示,由于不同人工眼其虹膜颜色、瞳孔大小、角膜反射等都存在差异,对于同一台眼动仪,采用不同人工眼测得的系统精确度可能存在差异。由于人工眼与实际人眼的虹膜、瞳孔及角膜反射特征等无法做到完全一致,使得眼动仪图像分析程序在处理实际人眼信息时与人工眼存在一定的差别,也会造成进行人眼测量时实际的系统精确度与人工眼测得结果之间的差异。因此,采用人工眼评估视频眼动仪的系统精确度对于掌握眼动仪数据质量是必需的,同时在实际研究应用中应根据人工眼测得的系统精确度谨慎估计每位受试者接受检测时的系统精确度水平,避免因纳入无效数据而影响结果。

## 参考文献

- [1] 史学锋,赵堪兴,许丽敏,等. 屈光参差性弱视眼微扫视眼球运动特征的初步观察[J]. 中华眼科杂志,2011,47(11):967-971. doi:10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2011.11.003.
- [2] Shi XF, Xu LM, Li Y, et al. Fixational saccadic eye movements are altered in anisometropic amblyopia[J]. Restor Neurol Neurosci, 2012, 30(6):445-462. doi:10.3233/RNN-2012-129000.
- [3] Ciuffreda KJ, Kenyon RV, Stark L. Fixational eye movements in amblyopia and strabismus[J]. J Am Optom Assoc, 1979, 50(11):1251-1258.
- [4] 史学锋,许丽敏,王婷,等. 屈光不正对微扫视性眼球运动影响的研究[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志,2011,13(4):280-283. doi:10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2011.04.010.
- [5] Kimmel DL, Mammo D, Newsome WT. Tracking the eye non-invasively: simultaneous comparison of the scleral search coil and optical tracking techniques in the macaque monkey [J/OL]. Front Behav Neurosci, 2012, 6:49 [2015-05-18]. http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnbeh.2012.00049/full. doi:10.3389/fnbeh.2012.00049.
- [6] Schmitt KU, Muser MH, Lanz C, et al. Comparing eye movements recorded by search coil and infrared eye tracking[J]. J Clin Monit Comput, 2007, 21(1):49-53. doi:10.1007/s10877-006-9057-5.
- [7] 刘慧,阴正勤. 眼动记录技术在眼科的临床应用[J]. 眼科研究, 2007, 25(4):310-312. doi:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2007.04.019.
- [8] 陈学军,杨永明,何为. 一种应用于视频眼震分析的瞳孔中心定位方法[J]. 中国生物医学工程学报,2012,31(2):184-189. doi:10.3969/j.issn.0258-8021.2012.02.004.
- [9] 刘慧,阴正勤. 眼动记录技术在眼科的临床应用[J]. 眼科研究, 2007, 25(4):310-312. doi:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2007.04.019.
- [10] Martinez-Conde S, Otero-Millan J, Macknik SL. The impact of microsaccades on vision: towards a unified theory of saccadic function[J]. Nat Rev Neurosci, 2013, 14(2):83-96. doi:10.1038/nrn3405.
- [11] Rolfs M. Microsaccades: small steps on a long way[J]. Vision Res, 2009, 49(20):2415-2441. doi:10.1016/j.visres.2009.08.010.
- [12] Collewijn H, Kowler E. The significance of microsaccades for vision and oculomotor control[J]. J Vis, 2008, 8(14):20. doi:10.1167/8.14.20.
- [13] Mergenthaler K, Engbert R. Microsaccades are different from saccades in scene perception[J]. Exp Brain Res, 2010, 203(4):753-757. doi:10.1007/s00221-010-2272-9.
- [14] Ciuffreda KJ, Kenyon RV, Stark L. Saccadic intrusions in strabismus[J]. Arch Ophthalmol, 1979, 97(9):1673-1679.
- [15] 史学锋,王婷,许丽敏,等. 光学成像模糊对微扫视性眼球运动影响的研究[J]. 天津医药,2011,39(8):673-676. doi:10.3969/j.issn.0253-9896.2011.08.004.
- [16] Mandelcorn MS, Podbielski DW, Mandelcorn ED. Fixation stability as a goal in the treatment of macular disease[J]. Can J Ophthalmol, 2013, 48(5):364-367. doi:10.1016/j.ajejo.2013.05.006.
- [17] Whittaker SG, Budd J, Cummings RW. Eccentric fixation with macular scotoma[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 1988, 29(2):268-278.
- [18] Acosta F, Lashkari K, Reynaud X, et al. Characterization of functional changes in macular holes and cysts[J]. Ophthalmology, 1991, 98(12):1820-1823.
- [19] Bellmann C, Feely M, Crossland MD, et al. Fixation stability using central and pericentral fixation targets in patients with age-related macular degeneration[J]. Ophthalmology, 2004, 111(12):2265-2270. doi:10.1016/j.ophtha.2004.06.019.
- [20] Møller F, Bek T. The relation between visual acuity and the size of fixational eye movements in patients with diabetic and non-diabetic macular disease[J]. Acta Ophthalmol Scand, 1998, 76(1):38-42.
- [21] McCamy MB, Otero-Millan J, Macknik SL, et al. Microsaccadic efficacy and contribution to foveal and peripheral vision[J]. J Neurosci, 2012, 32(27):9194-9204. doi:10.1523/JNEUROSCI.0515-12.2012.

(收稿日期:2015-05-22)

(本文编辑:尹卫靖 张宇)