

先天性眼球震颤眼球运动波形的相图特点分析

杜娟 史学锋 张伟 吴志强 赵堪兴

300020 天津医科大学眼科临床学院 天津市眼科医院 天津市眼科研究所 天津市眼科学与视觉科学重点实验室(杜娟、史学锋、张伟、赵堪兴);300192 天津大学机械工程学院 天津市非线性动力学与混沌控制重点实验室(吴志强)

通信作者:史学锋,Email:shixf_tmu@163.com

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2016.04.009

【摘要】 **背景** 先天性眼球震颤患者的眼球运动波形表现各异,其时间动力学的非线性特征复杂,常规的时间序列波形图不便于对患者进行临床诊断及评估。眼球运动系统是非线性反馈控制系统,而相图法是一种用于描绘非线性系统运动特征的分析技术,但相图法在先天性眼球震颤检测中的应用尚未见报道。**目的** 尝试建立先天性眼球震颤眼球运动波形的相图法分析技术,为先天性眼球震颤的临床诊断与定量评估提供新的方法。**方法** 采用前瞻性病例观察设计,纳入 2012 年 4 月至 2013 年 2 月在天津市眼科医院就诊的 25 例先天性眼球震颤患者,其中先天性运动性眼球震颤(CMN)患者 12 例,隐性眼球震颤(LN)患者 13 例。所有患者行视频眼动图(VOG)检查,对 VOG 数据进行格式转换后,采用 Matlab 程序对数据进行处理,得到每个眼动波形周期的相位图,并从相位图上测得周期位移(CPS)、慢相峰值速度(SPV)及其标准化值(SSPV)、快相峰值速度(FPV)及其标准化值(SFPV)。比较先天性眼球震颤波形速度递增型和速度递减型的测量参数。**结果** 先天性眼球震颤的眼球运动相图呈现周期性规律性往复运动轨迹,其慢相过程表现为密集带状轨迹,快相过程表现为稀疏环状轨迹。CMN 的眼球运动波形以速度递增型为主,而 LN 的眼球运动波形以速度递减型为主,2 种波形相图轨迹行走均呈顺时针方向。速度递增型 CPS、SPV 及 FPV 分别为 (4.646 ± 1.565) 、 (223.821 ± 114.049) 和 $(767.481 \pm 263.560)^\circ/s$,速度递减型 CPS、SPV 及 FPV 分别为 (9.373 ± 4.189) 、 (357.531 ± 154.300) 和 $(1148.706 \pm 541.362)^\circ/s$;速度递增型中 SPV 和 FPV 与 CPS 间均呈显著正相关($r_{SPV-CPS} = 0.685, P = 0.000$; $r_{FPV-CPS} = 0.680, P = 0.000$);速度递减型中 SPV 和 FPV 与 CPS 间均呈显著正相关($r_{SPV-CPS} = 0.783, P = 0.000$; $r_{FPV-CPS} = 0.803, P = 0.000$)。2 种波形 FPV 均大于 SPV,差异均有统计学意义(速度递增型: $t = 6.558, P = 0.000$;速度递减型: $t = 5.068, P = 0.000$)。速度递增型 SSPV 为 $(48.062 \pm 15.365)^\circ/s$,略大于速度递减型的 $(41.099 \pm 17.027)^\circ/s$,但差异无统计学意义($t = 1.070, P = 0.296$);速度递增型 SFPV 为 $(171.186 \pm 47.825)^\circ/s$,大于速度递减型的 $(125.317 \pm 38.266)^\circ/s$,差异有统计学意义($t = 2.658, P = 0.014$)。**结论** 相图法能够直观显示先天性眼球震颤眼球运动轨迹的周期性动态特征,便于测量其不同时相的运动幅度、速度等参数。

【关键词】 先天性眼球震颤/诊断;病理性眼球震颤/先天性;运动觉;眼球运动测定;相图;视频眼动图;眼扫视;人

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

Phase portrait analysis of eye movement waveforms in congenital nystagmus eyes Du Juan, Shi Xuefeng, Zhang Wei, Wu Zhiqiang, Zhao Kanxing

Tianjin Key Laboratory of Ophthalmology and Visual Science, Tianjin Eye Hospital and Institute, Clinical College of Ophthalmology of Tianjin Medical University, Tianjin 300020, China (Du J, Shi XF, Zhang W, Zhao KX); Tianjin Key Laboratory of Nonlinear Dynamics and Chaos Control, Tianjin University, Tianjin 300192, China (Wu ZQ)

Corresponding author: Shi Xuefeng, Email: shixf_tmu@163.com

[Abstract] Background The characteristics of eye movement waveforms in congenital nystagmus eyes is so complicated that the time-series waveform can hardly demonstrate the oscillational kinetic property of the eye

movement of nystagmus, which is not convenient for the clinical diagnosis and evaluation. The eye movement system is a nonlinear feedback control system, and phase portrait analysis is a useful method in describing the characteristics of movement in a nonlinear system.

Objective This study was to establish the phase portrait analysis method of the eye movement waveforms in congenital nystagmus eyes and provide a new technique for the clinical diagnosis and evaluation of congenital nystagmus.

Methods A prospective series-case observational study was performed. This study complied with the Declaration of Helsinki and was approved by Ethic Commission of Tianjin Eye Hospital. Written informed consent was obtained from each patient before examination. Twenty-five patients with congenital nystagmus were enrolled and received examination of video-oculography (VOG) in Tianjin Eye Hospital from April 2012 to February 2013, including 12 patients with congenital motor nystagmus (CMN) and 13 patients with latent nystagmus (LN). The VOG data were format-converted and processed by a Matlab routine. VOG-based phase portraits of eye movement cycles were drawn and related parameters were measured from the phase portraits for further analysis and comparison. Main measurement indexes were cycle position shift (CPS), slow phase peak velocity (SPV), standardized slow-phase peak (SSPV), fast phase peak velocity (FPV) and standardized fast-phase peak velocity (SFPV). Two principal types of waveforms, increasing-velocity type and decreasing-velocity type were compared.

Results The phase portraits of the waveforms of congenital nystagmus were cycles of reciprocating trajectories. The slow phases were in dense ribbon region, and the fast phases were in sparse annular region, and all the trajectories travelled in clockwise. The CPS, SPV and FPV of increasing-velocity type were (4.646 ± 1.565) , (223.821 ± 114.049) , $(767.481 \pm 263.560)^\circ$ per second, respectively. The CPS, SPV and FPV of decreasing-velocity type were (9.373 ± 4.189) , (357.531 ± 154.300) and $(1148.706 \pm 541.362)^\circ$ per second, respectively. The SPVs and FPVs of both increasing-velocity type and decreasing-velocity type showed strong correlation with CPS, respectively (the increasing-velocity type: $r_{SPV-CPS} = 0.685, P = 0.000$; $r_{FPV-CPS} = 0.680, P = 0.000$; the decreasing-velocity type $r_{SPV-CPS} = 0.783, P = 0.000$; $r_{FPV-CPS} = 0.803, P = 0.000$). FPVs were significantly larger than SPVs in both types of waveforms ($t = 6.558, P = 0.000$; $t = 5.068, P = 0.000$). The SSPV of increasing-velocity type was $(48.062 \pm 15.365)^\circ$ per second, which was slightly larger than $(41.099 \pm 17.027)^\circ$ per second of decreasing-velocity type, with no significant difference between them ($t = 1.070, P = 0.296$). The SFPV of increasing-velocity type was $(171.186 \pm 47.825)^\circ$ per second, which was larger than $(125.317 \pm 38.266)^\circ$ per second of decreasing-velocity type, showing a significant difference between them ($t = 2.658, P = 0.014$).

Conclusions Phase portraits can visualize the cyclically dynamic features of congenital nystagmus in a direct way. It facilitates the measurement of eye movement amplitude, speed and other parameters. The phase portrait analysis method provides a novel useful tool in the clinical diagnosis and treatment efficacy evaluation of congenital nystagmus.

[Key words] Nystagmus, congenital/diagnosis; Nystagmus, pathologic/congenital; Motion perception; Eye movement measurements; Phase portrait; Video-oculography; Saccades; Humans

Fund program: Key projects of National Natural Science Foundation of China (30730099); General program of National Natural Science Foundation of China (81371049); Youth projects of National Natural Science Foundation of China (81100694); Natural Science Foundation Project of Tianjin (11JCYBJC12700); Technological Projects of Tianjin Health Bureau (2010KY16)

先天性眼球震颤是一种以双眼不自主地持续往复运动为主要临床表现的小儿眼科疾病,严重影响视功能^[1-2]。先天性眼球震颤包括多种临床类型,常见的有先天性运动性眼球震颤(congenital motor nystagmus, CMN)和隐性眼球震颤(latent nystagmus, LN)^[2-3]。每种先天性眼球震颤的眼球运动波形表现各异,其时间动力学非线性特征复杂。Dell'Osso等^[4]根据眼球运动波形特征将CMN进一步分为12种类型,而Abadi等^[5]根据眼球运动波形特征的不同进一步将LN分为4种类型。由于波形图只能反映眼球运动变化的位置

信息,难以全面、直观地反映先天性眼球震颤的非线性动力学特征。临床实际工作中常规的时间序列波形图常不便于临床诊断与评估,缺乏经验的医师更难以按照Dell'Osso等^[4]或Abadi等^[5]的分类方法进一步作出亚型判断。相图法是一种用于描绘非线性系统运动特征的分析技术,广泛用于工程力学、神经科学等多个学科领域^[6-9],且眼球运动系统是典型的非线性反馈控制系统,但目前相图法在眼球运动系统中的应用鲜见报道。本研究尝试建立先天性眼球震颤眼球运动波形的相图法分析技术,为先天性眼球震颤的临床诊断

及定量评估提供新的方法。

1 资料与方法

1.1 一般资料 采用前瞻性研究设计,纳入 2012 年 4 月至 2013 年 2 月在天津市眼科医院就诊的先天性眼球震颤患者 25 例。CMN 患者 12 例,其中男 7 例,女 5 例;年龄 7~18 岁,平均(11.3±3.1)岁。LN 患者 13 例,其中男 6 例,女 7 例;年龄 9~17 岁,平均(12.5±2.6)岁。纳入标准:依据文献^[2-3]中的标准诊断为 CMN 和 LN 者;临床观察表现为水平冲动性眼球震颤者。排除标准:有眼外肌手术史者;曾使用抗眼球震颤药物,如加巴喷丁、美金刚等者;测试阶段有全身用药史者;感觉缺陷性眼球震颤患者及周期交替性眼球震颤患者。按照文献^[2-3]的标准鉴别 CMN 和 LN,即当单眼注视时眼球震颤加重而双眼注视时眼球震颤减轻或消失,则诊断为 LN,否则诊断为 CMN。本研究严格遵循赫尔辛基宣言,并经天津市眼科医院伦理委员会批准,所有患者和/或其监护人被告知研究的目的和意义并签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 视频眼动图检查 所有受试者均在绝对安静的暗室内接受检查,室内避免视觉干扰。采用 EyeLink2000 高速视频眼动仪(加拿大 SR Research 公司)记录受试者的视频眼动图(video-oculography, VOG)波形,时间分辨率为 0.5 ms,空间分辨率为 0.01°。检查时受试者坐于被试机屏幕前 2 m 处,以下颌托及额托固定其头部。测试开始前调整下颌托的高度和视频眼动仪红外摄像机镜头的位置,使在主试机屏幕上所显示的双眼图像处于垂直正中位,且双眼对称位于垂直虚线两侧。测试时用眼罩遮盖单眼后开始记录。受试者注视眼前屏幕中央一个直径为 0.15°视角的白色亮点,通过 EB 软件(加拿大 SR Research 公司)进行数据采集,记录时间为 3 min。

1.2.2 相图法分析 利用 VOG 波形实测位移数据以及经差分计算得到的眼球运动速度数据绘制眼球运动轨迹相图,再利用相图测得相关数据。将 VOG 波形数据的 EDF 格式转换成 ASC II 格式文件后导入 Matlab 2008a 软件(美国 Mathworks 公司),采用自编的 Matlab 分析程序对数据进行预处理,包括自动去除 VOG 数据中的瞬目、干扰波形等无效数据,根据公式(1)对时间-位移数据进行转换获得时间-速度数据。

$$V_i = X_{i+1} - X_i / \Delta T \dots\dots\dots (1)$$

其中 V_i 为第 i 个采样时间点的眼球运动速度, X_{i+1} 和 X_i 分别为第 $i+1$ 和第 i 个采样时间点的眼球位移幅

度, ΔT 为第 $i+1$ 和第 i 个采样时间点之间的时间间隔。

以时间轴为对应依据,绘制位移-速度图,即为眼球运动轨迹的相图。根据绘制的相图,测量周期位移(cycle position shift, CPS)、慢相峰值速度(slow-phase peak velocity, SPV)和快相峰值速度(fast-phase peak velocity, FPV),根据每个波形周期的 CPS 分别对 SPV 和 FPV 进行标准化,得到标准化慢相峰值速度(standardized slow-phase peak velocity, SSPV)和标准化快相峰值速度(standardized fast-phase peak velocity, SFPV)。

1.2.3 数据分组 按照慢相的特征,将运动性眼球震颤的波形分为速度递增型和速度递减型^[3]。CMN 和 LN 中不同类型的波形常混合存在,但 CMN 的眼球运动波形以速度递增型为主(图 1A),而 LN 的眼球运动波形以速度递减型为主(图 1B)。从 CMN 和 LN 的数据中分别取速度递增型和速度递减型测量数据。

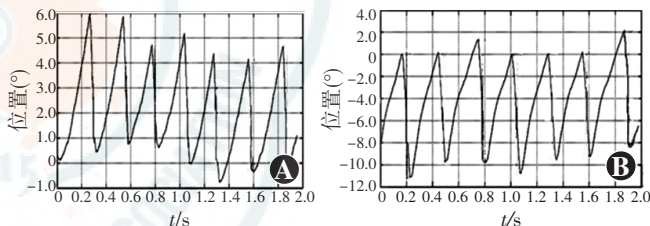


图 1 先天性眼球震颤眼球运动波形图 A:速度递增型受试者典型速度递增型眼球运动波形图 B:速度递减型受试者典型速度递减型眼球运动波形图

1.3 统计学方法

采用 SPSS 13.0 统计学软件(美国 SPSS 公司)进行统计分析。本研究测量指标的数据经 W 检验呈正态分布,以 $\bar{x} \pm s$ 表示。速度递增型与速度递减型标准化峰值比较采用独立样本 t 检验;CPS 与峰值速度关系的分析采用 Pearson 线性相关分析,并对相关系数进行假设检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 先天性眼球震颤眼球运动波形相图轨迹特征

速度递增型与速度递减型相图均呈现周期性规律性往复运动轨迹,2 种相图上慢相过程均表现为密集带状轨迹,快相过程均表现为稀疏环状轨迹,且相图轨迹均呈顺时针方向走行。速度递增型相图慢相过程可见眼球运动速度随着轨迹走行方向逐渐递增,速度递减型相图慢相过程可见眼球运动速度随着轨迹走行方向逐渐递减(图 2,3)。

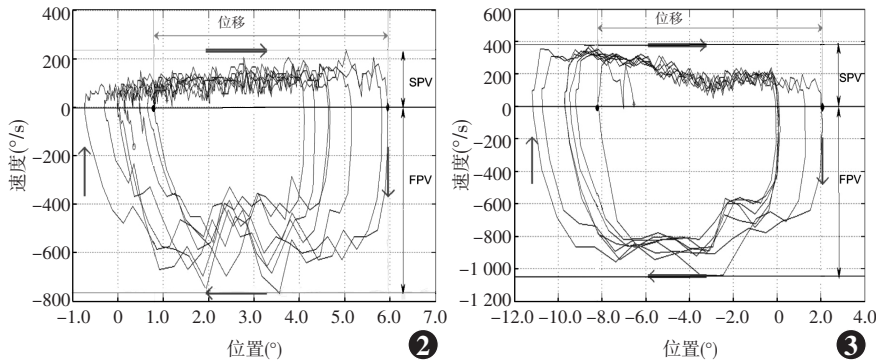


图2 速度递增型典型相图轨迹 眼球运动速度随着轨迹走行方向逐渐递增 SPV:慢相峰值速度;FPV:快相峰值速度 图3 速度递减型典型相图轨迹 眼球运动速度随着轨迹走行方向逐渐递减 SPV:慢相峰值速度;FPV:快相峰值速度

2.2 各组 CPS 与峰值速度相关性分析

速度递增型 CPS、SPV、FPV 分别为 (4.646 ± 1.565) 、 (223.821 ± 114.049) 、 $(767.481 \pm 263.560)^\circ/s$ ，SPV 和 FPV 与 CPS 间均呈显著正相关 ($r_{SPV-CPS} = 0.685, P = 0.000$; $r_{FPV-CPS} = 0.680, P = 0.000$)。速度递减型 CPS、SPV、FPV 分别为 (9.373 ± 4.189) 、 (357.531 ± 154.300) 、 $(1148.706 \pm 541.362)^\circ/s$ ，SPV 和 FPV 与 CPS 间均呈显著正相关 ($r_{SPV-CPS} = 0.783, P = 0.000$; $r_{FPV-CPS} = 0.803, P = 0.000$)。2 种波形 FPV 均大于 SPV，差异均有统计学意义 (速度递增型: $t = 6.558, P = 0.000$; 速度递减型: $t = 5.068, P = 0.000$)。

2.3 各组标准化峰值速度比较

速度递增型 SSPV 略大于速度递减型，但差异无统计学意义 ($t = 1.070, P > 0.05$)；速度递增型 SFPV 大于速度递减型，差异有统计学意义 ($t = 2.658, P < 0.05$) (表 1)。

表 1 速度递增型与速度递减型标准化峰值速度的比较 ($\bar{x} \pm s, ^\circ/s$)

组别	SSPV	SFPV
速度递增型	48.062 ± 15.365	171.186 ± 47.825
速度递减型	41.099 ± 17.027	125.317 ± 38.266
t	1.070	2.658
P	0.296	0.014

注: SSPV: 标准化慢相峰值速度; SFPV: 标准化快相峰值速度 (独立样本 t 检验)

3 讨论

先天性眼球震颤是一种眼球运动异常性眼病，其发病机制尚未完全清楚。眼球运动系统是典型的非线性反馈控制系统，既往研究采用数学方法模拟先天性眼球震颤的眼动波形轨迹，并提出先天性眼球震颤眼球运动的非线性微分方程，而求解这些方程以期得到位移随时间的变化情况比较复杂^[10-12]。传统的方法

难以准确描述先天性眼球震颤的非线性振荡特性^[13]。传统的眼动检查图常采用时间-位移曲线来显示眼球的运动特征。随着记录时间的延长，曲线中眼球运动轨迹变得更加密集以至于无法分辨其循环往复的周期，而通过选取整体曲线图中的某一时间段进行分析又影响了眼球运动特征的整体观察。由于先天性眼球震颤眼球运动的非线性、变化性以及非典型性等因素，检查者对时间片段选取的不同可导致分析结果的差异，

这给临床诊断和评估的可靠性和可对比性带来了严重影响。相图法又称为相平面法，是用于描绘某一变量及其变化速率之间关系的分析方法，不含有时间变量。相图法的基本原理是采用图解法在直角坐标平面上描绘变量及其变化速率之间关系的轨迹，从而直观地研究系统的特征。该方法能清晰地显示每个运动周期的轨迹，较好地兼顾了对整体和局部的观察。临床研究方面，相图法已应用于核间性眼肌麻痹、慢性进行性外眼肌麻痹、动眼神经麻痹、外展神经麻痹、重症肌无力、多发性硬化和桥脑中风患者的眼球运动异常等方面，为这些疾病的诊断和发病机制的研究提供了新的手段^[14-15]。本研究中分别描绘了速度递增型波形和速度递减型波形 2 种主要先天性眼球震颤波形类型的相图轨迹。2 个组相图均表现为顺时针方向行走轨迹，说明 2 个组速度相位均为超前位移相位，其运动特征具有一定的相似性，这也是临床上仅凭肉眼或单纯的时间序列波形图难于做出合理判断的原因。根据相图，慢相与快相的区分较明显：慢相过程表现为密集带状轨迹，快相过程表现为稀疏环状轨迹。速度递增型相图慢相过程可见眼球运动速度随着轨迹走行方向逐渐递增，速度递减型相图慢相过程可见眼球运动速度随着轨迹走行方向逐渐递减。根据相图还可测量周期位移、峰值速度等指标，便于定量评估。因此，相图具有整体性、直观性和便于测量等特点，更利于先天性眼球震颤的临床诊断和疗效评估。

本研究结果显示 2 个组波形 SPV 和 FPV 与 CPS 均具有相关性，显示了与扫视性眼球运动相类似的主序列特征，即运动幅度与峰值速度。有研究指出眼球扫视系统神经机制的缺陷是先天性眼球震颤快相发生的重要原因^[16-19]。本研究结果显示，速度递增型与速度递减型之间 SSPV 差异无统计学意义，而 SFPV 差异有统计学意义，进一步提示扫视系统的神经机制异常

可能在不同类型先天性眼球震颤的发生中起作用,而慢相为速度递增型波形的先天性眼球震颤可能存在扫视运动过冲,此推论仍有待进一步证实^[20-21]。本研究中采用了 VOG 检查技术,同时采用具有高精度和高时间分辨率的 Eyelink2000 高速视频眼动仪,从而保证了数据的可靠性。既往对先天性眼球震颤的波形鉴别和分析多根据慢相的速度变化特征,并未观察到眼球震颤快相动力学之间的差异^[22-24],本研究针对快相的分析可为波形鉴别提供新的思路。

综上所述,相图法能够直观显示先天性眼球震颤眼球运动轨迹的周期性动态特征,便于测量其不同时相的运动幅度、峰值速度等参数,为先天性眼球震颤的临床诊断分型提供参考,可进一步对先天性眼球震颤患者术后的疗效评估提供新的定量分析工具。

参考文献

- [1] Hertle RW. Nystagmus in infancy and childhood: characteristics and evidence for treatment[J]. *Am Orthopt J*, 2010, 60(1): 48-58. DOI: 10.3368/aoj.60.1.48.
- [2] American Academy of Ophthalmology Basic and Clinical Science Course Subcommittee. Pediatric Ophthalmology and Strabismus [S]. San Francisco: American Academy of Ophthalmology, 2012-2013: 243-259.
- [3] 赵堪兴, 杨培增. 眼科学[M]. 8 版. 北京: 人民卫生出版社, 2013: 266-267. Zhao KX, Yang PZ. *Ophthalmology* [M]. 8th ed. Beijing: People's Medical Publishing Press, 2013: 266-267.
- [4] Dell'Osso LF, Hertle RW. Effects of topical brinzolamide on infantile nystagmus syndrome waveforms: eyedrops for nystagmus[J]. *J Neuro Ophthalmol*, 2011, 31(3): 228-233. DOI: 10.1097/WNO.0b013e318223d0a9.
- [5] Abadi RV, Scallan CJ. Waveform characteristics of manifest latent nystagmus[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2000, 41(12): 3805-3817.
- [6] Rafikov M, Balthazar JM. On control and synchronization in chaotic and hyperchaotic systems via linear feedback control[J]. *Comm Nonlinear Sci Num Sim*, 2008, 13(7): 1246-1255.
- [7] Konečný J, T Vř'cha, Dohnal M. Qualitative phase portrait of modified Black-Scholes model[J]. *Expert Syst Appl*, 2010, 37(5): 3823-3826.
- [8] Leite MC, Wang Y. Multistability oscillations and bifurcations in feedback loops[J]. *Math Biosci Eng*, 2010, 7(1): 83-97. DOI: 10.3934/mbe.2010.7.83.
- [9] Abadi RV, Broomhead DS, Clement RA. Dynamical systems analysis: a new method of analysing congenital nystagmus waveforms[J]. *Exp Brain Res*, 1997, 117(3): 355-361.
- [10] Akman OE, Broomhead DS, Abadi RV, et al. Components of the neural signal underlying congenital nystagmus[J]. *Exp Brain Res*, 2012, 220(3-4): 213-221. DOI: 10.1007/s00221-012-3130-8.
- [11] Wang ZI, Dell'Osso LF. Eye-movement-based assessment of visual function in patients with infantile nystagmus syndrome[J]. *Optom Vis Sci*, 2009, 86(8): 988-995. DOI: 10.1097/OPX.0b013e3181b2f2ee.
- [12] Harris CM, Berry DL. A distal model of congenital nystagmus as nonlinear adaptive oscillations[J]. *Nonlinear Dynamics*, 2006, 44(1-4): 367-380.
- [13] Akman OE, Broomhead DS, Clement RA. Nonlinear time series analysis of jerk congenital nystagmus[J]. *J Comp Neurosci*, 2006, 21(2): 153-170.
- [14] Frohman EM, O'Suilleabhain P, Dewey RB. A new measure of dysconjugacy in INO: the first-pass amplitude[J]. *J Neurol Sci*, 2003, 210(1-2): 65-71.
- [15] Serra A, Liao K, Leigh RJ. Conjugacy of horizontal saccades: application of binocular phase planes[J]. *Prog Brain Res*, 2008, 171: 571-574. DOI: 10.1016/S0079-6123(08)00682-1.
- [16] Jacobs JB, Dell'Osso LF. Congenital nystagmus: hypotheses for its genesis and complex waveforms within a behavioral ocular motor system model[J]. *J Vis*, 2004, 4(7): 604-625. DOI: 10.1167/4.7.7.
- [17] Akman OE, Broomhead DS, Abadi RV, et al. Eye movement instabilities and nystagmus can be predicted by a nonlinear dynamics model of the saccadic system[J]. *J Math Biol*, 2005, 51(6): 661-694. DOI: 10.1007/s00285-005-0336-4.
- [18] Harris C, Berry D. A developmental model of infantile nystagmus[J]. *Semin Ophthalmol*, 2006, 21(2): 63-69. DOI: 10.1080/08820530600613746.
- [19] Ego C, Orban de Xivrv JJ, Nassogne MC, et al. The saccadic system does not compensate for the immaturity of the smooth pursuit system during visual tracking in children[J]. *J Neuro Physiol*, 2013, 110(2): 358-367. DOI: 10.1152/jn.00981.2012.
- [20] Jacobs JB, Dell'Osso LF, Leigh RJ. Characteristics of braking saccades in congenital nystagmus[J]. *Doc Ophthalmol*, 2003, 107(2): 137-154.
- [21] Thurtell MJ, Leigh RJ. Nystagmus and saccadic intrusions[J]. *Handb Clin Neurol*, 2011, 102(1): 333-378. DOI: 10.1016/B978-0-444-52903-9.00019-4.
- [22] Lebedev S, van Gelder P, Tsui WH. Square-root relations between main saccadic parameters[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 1996, 37(13): 2750-2758.
- [23] Garbutt S, Harwood MR, Kumar AN. Evaluating small eye movements in patients with saccadic palsies[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2003, 1004: 337-346. DOI: 10.1196/annals.1303.031
- [24] Frens MA, van der Geest JN. Scleral search coils influence saccade dynamics[J]. *J Neurophysiol*, 2002, 88(2): 692-698. DOI: 10.1152/jn.00457.2001.

(收稿日期:2015-12-03)

(本文编辑:刘艳 张宇)

读者·作者·编者

本刊投稿方式

投稿请登陆中华医学会网站(<http://www.cma.org.cn>),登录后点击“业务中心”,经中华医学会远程稿件处理系统(<http://www.cma.org.cn/ywzx/index.html>)或中华医学会杂志社网站(<http://www.medline.org.cn/>),根据提示进行注册后投稿。投稿时请使用 Word 格式(.doc 文件类型),投稿后请注意自留原稿,并保留论文相关的原始资料,以备稿件修改补充所用。投稿后请从“业务中心”下载“中华医学会系列杂志论文投送介绍信及授权书(中文版)”,填写有关项目并请每位作者亲笔签字,加盖单位公章后寄 2 份至本刊编辑部,其中作者签名顺序和作者单位署名名称应与投稿时文章中著录的相一致,如有变更应由每位作者同意并请通信作者告知编辑部。投稿请注意:(1)在非公开刊物发表的稿件、学术会议交流的文章、已用非中文文字期刊发表的文稿不属于一稿两投,但投稿时应向编辑部说明,非中文文字期刊已发表的文稿须征得首次发表期刊的同意。(2)作者须告知与该研究有关的利益冲突,如该研究被某机构资金资助的声明或与审稿人的利益关系。(3)如涉及保密问题,需附有关部门审查同意发表的证明。

(本刊编辑部)