

双眼运动的旋转协调

钱学翰

作者单位: (300020) 中国天津市, 天津医科大学眼科临床医院
天津市眼科医院

作者简介: 钱学翰, 主治医师, 眼科学博士, 国家公派留美访问学者, 现在天津医科大学眼科中心斜视与小兒眼科工作, 研究方向: 眼球运动相关疾病。

通讯作者: 钱学翰. qianjohn@163.com

收稿日期: 2009-12-07 修回日期: 2010-02-20

Torsional coordination of binocular eye movements

Xue-Han Qian

Clinical College of Ophthalmology, Tianjin Medical University;
Tianjin Eye Hospital, Tianjin 300020, China

Correspondence to: Xue-Han Qian. Clinical College of Ophthalmology, Tianjin Medical University; Tianjin Eye Hospital, Tianjin 300020, China. qianjohn@163.com

Received: 2009-12-07 Accepted: 2010-02-20

Abstract

• The torsional coordination of binocular eye movements is a complex task since misalignment produces retinal disparities which result in diplopia and decrease of stereopsis. In clinic, many special strabismus cases have torsional alignment problem. This review concerns research in torsional coordination of binocular eye movements.

• KEYWORDS: torsion; binocular; adaptation

Qian XH. Torsional coordination of binocular eye movements. *Int J Ophthalmol (Guji Yanke Zazhi)* 2010;10(3):527-529

摘要

双眼旋转运动协调很复杂, 协调不佳将会导致双眼的视网膜物像产生视差, 引起复视和立体视下降。临床多种复杂性斜视主要表现为旋转运动的异常, 本文将主要回顾旋转运动成分的研究。

关键词: 旋转运动; 双眼; 适应

DOI: 10.3969/j.issn.1672-5123.2010.03.040

钱学翰. 双眼运动的旋转协调. 国际眼科杂志 2010;10(3):527-529

0 引言

双眼运动协调表面上是一件简单的工作, 我们在日常生活中感觉不到它的存在, 但实际上却很复杂。双眼运动协调不佳将会导致双眼的视网膜物像产生视差, 如果这种差异超过 0.25° 将会引起复视和立体视下降^[1]。双眼运动协调的意义还在于单眼被物体遮挡时仍然可以保持双眼固视目标。双眼协调运动包括三个成分: 水平、垂直和

旋转 (torsion)。研究发现, 内外旋运动的良好协调对于立体视至关重要^[2], 临床多种复杂性斜视主要表现为旋转运动的异常, 因此我们将主要回顾旋转运动成分的研究。

1 眼球运动的三维性

人类双侧眼眶内有 12 条眼外肌参与眼球运动, 允许眼球在三维空间内作变轴运动, 也就是说眼球不仅可以围绕垂直轴作水平转动、围绕水平轴 (耳间轴) 作垂直转动, 还可以围绕前后轴 (视线方向) 作内外旋运动。旋转运动也可以分为双眼同向旋运动 (cyclovision) 与异向旋运动 (cyclovergence)。双眼同向运动是指 1 眼角膜 12:00 顺时针转动, 另 1 眼同样也作顺时针转动; 双眼异向运动恰相反, 如果 1 眼角膜 12:00 如果顺时针转动, 另 1 眼将作逆时针转动。Van Rijn 等^[3]发现: 固视时个体间同向旋的度数差异很大, 其标准差为 0.21° , 而异向旋的度数差异极小, 当固视背景可见时仅为 0.07° , 不可见时为 0.14° 。很明显, 同向旋的不稳定性并不会给我们带来什么负面影响, 但异向旋截然不同, 必须高度稳定, 这对我们的双眼视觉功能至关重要^[2]。虽然外周眼球运动系统具备了三维空间变轴运动的解剖结构, 但并不是所有的眼球运动都表现出三维特性, 由低级运动中枢发出的眼动需求, 如前庭眼反射 (vestibulo-ocular reflex, VOR) 能表现出三维特性, 但由高级中枢发出的眼动需求要满足双眼视觉需要, 却只能表现出两维的自由度, 即眼球的三维空间位置由水平运动、垂直运动决定, 而围绕视轴的旋转度由 Listing 定律决定。

2 Listing 定律

当眼球同时做水平运动和垂直运动时, 会发生围绕视轴的假性旋转, Listing 定律就是描述这个特定的位置。当眼球从原在位向任意位置运动时的运动规律, 眼球可以采用两种方式, 既可以同时作水平运动 (围绕垂直轴) 和垂直运动 (围绕水平轴) 来达到一个特定的运动位置, 这个特定的运动位置也可以通过围绕另外的一个旋转轴只作一次旋转运动所达到。这些可能的单一旋转轴组成了一个平面, 称 Listing 平面。Listing 平面基本上与人体冠状面平行, 在某些特定情况下会发生倾斜^[4], 或出现双眼间的差异^[5]。为什么高级中枢发出的、需求要满足双眼视觉需要的眼动要遵守 Listing 定律呢? 确切的原因目前还不是非常清楚, 但研究已经发现, Listing 定律可以简化眼动控制的过程^[6]。目前对 Listing 定律争论很大, 最激烈的焦点在 Listing 定律实现的基础是在中枢还是在外周。中枢机制认为, 高级视觉中枢将眼动需求信号传到眼动控制神经元, 眼动控制神经元再根据眼球的位置随时计算, 调整三维运动信号的强度, 从而实现 Listing 定律^[7]。外周机制认为: Listing 定律并不需要用复杂的中枢机制实现, 在中枢仅需要提供二维信号的情况下, 外周眼球运动系统有其自适应性结构—动态直肌滑轮 (active pulley), 靠其空间解剖构型的改变即可实现 Listing 定律^[8]。

3 旋转运动的适应性

扫视 (Saccades) 经常使用跳跃的方式适应不同条件

下的眼球运动状态,因为扫视时视觉信息传入暂时受到抑制,运动系统保证先快速移动到目标附近,并默许伴随误差,然后采用再校准的方式确保扫视的精确性。正是基于相同的想法,Melis等^[9]采用步进的内外旋视标作为水平扫视的注视物,结果发现同向旋运动的幅度并没有发生改变,因此认为同向旋运动没有适应性。Maxwell等^[10]发现:异向旋可以被修饰,实验中受试者追踪一个旋转量随垂直位置变化而变化的视标,结果所有受试者均出现了对异向旋视差(cyclodisparities)的适应,更为有趣的是不仅受试者的开环适应性旋转隐斜量(adapted open loop cyclophorias即遮单眼所测量出的旋转隐斜量)增加,而且闭环适应性旋转融合量(adapted close loop cyclofusional responses双眼注视所测量出的旋转隐斜量)也增加了50%。两者相比,闭环适应性旋转融合量对旋转适应的贡献要更大。另外,受试者对内旋性视差的适应能力要比外旋性视差^[11],因为人正常状态下的旋转隐斜为外旋性。不是所有旋转视差都可以驱动眼球运动系统,运动校正系统必须区分两种不同的旋转视差:一种是真正的旋视差,另外一种是由于视标倾斜所引起的旋转视差^[12]。后者不但不能以作为驱动眼球运动系统的视差信号,相反对于运动系统有一种锁定作用,因为双眼视觉系统需要这种旋转视差作为形成立体视的线索,也就是说靠这种旋转视差才能判断出视标是否倾斜^[13]。多名学者^[14,15]认为:旋转视差的水平轮廓驱动运动性旋转融合,垂直部分产生倾斜感。实验还发现:旋转性融合随视标的直径增大而增加,这提示:中心视野的视差靠感觉性融合,而周边视野的视差驱动运动性融合^[16]。Van Rijn等比较同向旋运动和异向旋运动后认为,同向旋运动可以是单眼过程,而异向旋运动来源于双眼视,需要靠视网膜对应来驱动^[11]。

4 头位变化与双眼旋转运动

头倾斜时会引起眼球运动的不协调。当头围绕前后轴做左右倾运动时,眼球运动轴与前后轴平行并向相反方向旋转,幅度约为头静态位置改变的10%^[17,18]。代偿性双眼旋转运动(ocular counterroll, OCR)主要靠上下斜肌来实现,这种由代偿运动引发的斜肌肌力改变会影响其他眼外肌神经支配的输入,以确保完成与垂直头位相同效果的运动^[19]。上斜肌的次要作用是下转,下斜肌的次要作用是上转,当头向一侧倾斜时,上斜肌使低位眼内旋同时会引起下转,同样下斜肌使高位眼外旋同时会引起上转,其潜在倾向是带来垂直偏斜(vertical skew),即高位眼更高,低位眼更低。因此当头频繁左右倾时,来自前后半规管的神经冲动将会同时兴奋一侧的斜肌和对侧的垂直直肌,只有多条眼外肌协调配合才能避免垂直偏斜。这就是为什么研究发现内旋眼与外旋眼之间的垂直偏斜并不大的原因,内旋眼仅比外旋眼略高一点^[20],但有研究发现:如果在对称性集合时诱发双眼代偿性旋转运动,垂直偏斜会加大^[21]。关于双眼代偿性旋转运动是否共轭的问题也在争论,有学者认为双眼代偿性旋转运动极为接近共轭运动^[20],但也有证据显示双眼代偿性旋转运动是明显的非共轭运动^[22]。但有一点可以肯定,如果在正常的运动融合机制控制下,内外旋运动引起的垂直偏斜是有限的,不会对双眼视造成干扰。

5 头位变化时的旋转集合适应

固视时个体间同向旋的度数差异很大,说明个体对同向旋的适应能力很强。旋转集合则不然,因为我们的视觉系统要求严格的视网膜对应,所以旋转集合必须精确适应

由于头倾斜(即不平衡的前庭信号)带来的旋转视差。Maxwell等^[23]的实验证实了这一点。他们发现:适应训练前,旋转隐斜与头倾斜无关;如果不同头倾斜方向时给不同方向的旋转视差,例如头右倾时给外旋视差,左倾时给内旋视差,然后再相反。经历此番训练后(训练时间为1h),旋转隐斜出现了明显的头位依赖性。也就是说,旋转视差所产生的眼动需求改变了固有的OCR增益,其意义在于降低OCR的增益可以把旋转运动带来的垂直视差降低到垂直运动融合允许的范围内,避免造成对双眼视的干扰。

6 旋转运动协调与临床疾病

中枢神经系统病变会引起旋转运动的不协调:Gresty研究发现:如果中脑特定区域发生病变将会产生眼三联征(triad ocular tilt reaction, OTR)^[24]。电生理研究也证实:电刺激中脑特定区域同样会诱发OTR^[25]。小脑在维持代偿眼动协调上也扮演重要角色,Walker等^[26]与Wong等^[27]的研究发现:小脑病变患者头倾斜是将会产生大幅度的垂直偏斜,这与前庭眼反射(VOR)增益的不对称有关^[28]。Chin等^[29]的实验也发现,如果毁损猫的单侧小脑绒球小结叶,会使同侧眼发生内旋。Walker等^[30]在猴重复了Chin等的实验也证实了相同的发现。外周运动系统结构变化也会影响旋转运动的协调:Ying等^[31]通过三维眼球运动研究发现:双侧上斜肌麻痹患者行双侧上斜肌矢状移位术(Harada-Ito procedure)后,眼动参数改变一部分发生于双眼,另一部分发生于麻痹较轻的1眼,其中以上下转位旋变化梯度改变最为明显。这说明中枢及外周代偿机制均参与了旋转运动的协调。

综上所述,良好旋转运动协调是一个多步骤过程,它需要高级视觉中枢、运动神经元,眼外肌三者之间的良好配合。外周运动控制系统的自适应性可以简化中枢控制系统的信号合成过程,这也可能参与了运动协调的过程。但我们生活在一个多变的视觉环境中,仅依靠运动系统本身的自适应性来完成双眼运动协调是不够的,还要靠中枢适应机制,才能够完成多变的运动任务。因此,深刻理解双眼旋转运动的协调机制有助于更好的认识特殊类型的眼球运动疾病,从而为选择治疗方案提供帮助。

参考文献

- 1 Schor CM, Tyler CW. Spatio-temporal properties of Panum's fusional area. *Vision Research* 1981;21(5):683-692
- 2 Schreiber K, Crawford JD, Fetter M, et al. The motor side of depth vision. *Nature* 2001;410(6830):819-822
- 3 Van Rijn LT, Van der Steen J, Collewijn H. Instability of ocular torsion during fixation; cyclovergence is more stable than cycloverision. *Vision Research* 1994;34(8):1077-1087
- 4 Bruno P, van den Berg AV. Relative orientation of primary positions of the two eyes. *Vision Research* 1997;37(7):935-947
- 5 Haslwanter T. Mathematics of three-dimensional eye rotations. *Vision Research* 1995;35(12):1727-1739
- 6 Demer JL. Current concepts of mechanical and neural factors in ocular motility. *Curr Opin Neurol* 2006;19(1):4-13
- 7 Fesharaki M, Karagiannis P, Tweed D, et al. Adaptive neural mechanism for Listing's law revealed in patients with skew deviation caused by brainstem or cerebellar lesion. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49(1):204-214
- 8 Kono R, Clark RA, Demer JL. Active pulleys; magnetic resonance imaging of rectus muscle paths in tertiary gazes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43(7):2179-2188

- 9 Melis BJ, Van Gisbergen JA. Analysis of saccadic short-term plasticity in three dimensions. *Vision Research* 1995;35(23-24):3423-3437
- 10 Maxwell JS, Graf E W, Schor CM. Adaptation of torsional eye alignment in relation to smooth pursuit and saccades. *Vision Research* 2001; 41(27):3735-3749
- 11 Taylor MJ, Roberts DC, Zee DS. Effect of sustained cyclovergence on eye alignment: rapid torsional phoria adaptation. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000;41(5):1076-1083
- 12 Howard IP, Sun L, Shen X. Cyclovergence and cyclovergence: the effects of the area and position of the visual display. *Experimental Brain Research* 1994;100(3):509-514
- 13 Mitsudo H, Kaneko H, Nishida S. Perceived depth of curved lines in the presence of cyclovergence. *Vision Res* 2009;49(3):348-361
- 14 Ibbotson MR, Price NS, Das VE, et al. Torsional eye movements during psychophysical testing with rotating patterns. *Exp Brain Res* 2005; 160(2):264-267
- 15 Van Rijn LJ, Van der Steen J, Collewyn H. Visually induced cyclovergence and cyclovergence. *Vision Research* 1992;32(10):1875-1883
- 16 Kushner BJ, Hariharan L. Observations about objective and subjective ocular torsion. *Ophthalmology* 2009;116(10):2001-2010
- 17 Diamond S, Markham CH. Ocular counterrolling as an indicator of vestibular otolith function. *Neurology* 1983;33(11):1460-1469
- 18 Kori AA, Schmid Priscoveanu A, Straumann D. Vertical divergence and counterroll eye movements evoked by whole-body position steps about the roll axis of the head in humans. *J Neurophysiol* 2001; 85(2): 671-678
- 19 Scherberger H, Cabungcal JH, Hepp K, et al. Ocular counterroll modulates the preferred direction of saccade-related pontine burst neurons in the monkey. *J Neurophysiol* 2001;86(2):935-949
- 20 Aw ST, Todd MJ, Halmagyi GM. Latency and initiation of the human vestibuloocular reflex to pulsed galvanic stimulation. *J Neurophysiol* 2006;96(2):925-930
- 21 Migliaccio AA, Della Santina CC, Carey JP, et al. The effect of binocular eye position and head rotation plane on the human torsional vestibuloocular reflex. *Vision Research* 2006;46(16):2475-2486
- 22 Bergamin O, Straumann D. Three-dimensional binocular kinematics of torsional vestibular nystagmus during convergence on head-fixed targets in humans. *J Neurophysiol* 2001;86(1):113-122
- 23 Maxwell JS, Schor CM. Adaptation of torsional eye alignment in relation to head roll. *Vision Research* 1999;39(25):4192-4199
- 24 Gresty MA, Bronstein AM, Brandt T, et al. Neurology of otolith function. Peripheral and central disorders. *Brain* 1992; 115 (Pt 3): 647-673
- 25 Lueck CJ, Hamlyn P, Crawford TJ, et al. A case of ocular tilt reaction and torsional nystagmus due to direct stimulation of the midbrain in man. *Brain* 1991;114(Pt 5):2069-2079
- 26 Walker MF, Zee DS. Cerebellar disease alters the axis of the high-acceleration vestibuloocular reflex. *J Neurophysiol* 2005;94(5):3417-3429
- 27 Wong AM, Sharpe JA. Cerebellar skew deviation and the torsional vestibuloocular reflex. *Neurology* 2005;65(3):412-419
- 28 Hess BJ. Control of ocular torsion in the rotational vestibulo-ocular reflexes. *Prog Brain Res* 2008;171:199-206
- 29 Chin S, Fukushima K, Fukushima J, et al. Ocular torsion produced by unilateral chemical inactivation of the cerebellar flocculus in alert cats. *Current Eye Research* 2002;25:133-138
- 30 Walker MF, Tian J, Shan X, et al. Lesions of the cerebellar nodulus and uvula in monkeys: effect on otolith-ocular reflexes. *Prog Brain Res* 2008;171:167-172
- 31 Ying HS, Darbandi B, Shan X, et al. Quantitative eye movement recordings in a patient with acquired bilateral superior oblique palsy before and after a bilateral Harada-Ito procedure. *Strabismus* 2007; 15(3): 137-147