

眼倾斜反应评价及应用进展

赵彤彤^{1,2}, 张梦露^{1,2}, 凌霞¹, 巴晓红², 杨旭¹

摘要 临床上,前庭评价技术的精准应用是头晕/眩晕疾病的定位及鉴别诊断的核心。近年来,临床相关的前庭功能检查更多的是针对前庭半规管通路及功能的评价。随着临床诊治及研究的深入,基于前庭重力通路及功能的进一步评价如眼倾斜反应(OTR)检查,亦能对头晕/眩晕疾病的定位及鉴别诊断等提供重要的临床诊断证据。在此背景下,本文对OTR的发病机制、测量注意事项及临床应用等方面进行一综述。

关键词 眩晕;前庭重力通路;椭圆囊;垂直半规管;眼倾斜反应

中图分类号 R741;R741.04;R651 **文献标识码** A **DOI** 10.16780/j.cnki.sjssgncj.20220166

“头晕/眩晕”是临床上的常见主诉之一,其病因复杂且涉及多学科,诊断难度颇高。长期以来,对头晕/眩晕患者的前庭功能检查偏重于半规管功能的检查,如双温试验、转椅试验、视频头脉冲试验等。研究表明,以眼倾斜反应(ocular tilt reaction, OTR)为代表的耳石通路评价在前庭疾病的定位诊断及鉴别诊断等方面有重要价值。临床上,OTR评价为前庭重力传导通路相关静态张力不平衡的重要体征,主要包括头倾斜(head tilt, HT)、眼反向偏斜(skew deviation, SD)、眼球扭转(ocular torsion, OT)及主观视觉垂直(subjective visual vertical, SVV),在对前庭疾病的定位诊断方面具有重要的临床应用价值。

1 OTR研究历史

20世纪60年代,人们在动物实验中发现,刺激单侧椭圆囊神经(猫)、椭圆囊斑(豚鼠)和垂直半规管(猫)可导致完整的眼倾斜反应或其单一成分发生^[1]。1975年,Westheimer和Blair^[2]在电刺激猕猴中脑被盖时,发现猕猴出现朝向刺激侧的头倾斜、眼反向偏斜和眼扭转现象,并将之命名为OTR,同时指出OTR与此前临床中的眼反向偏斜(Hertwig-Magendie现象)为同一现象。1977年,Rabinovitch等^[3]报道了1例多发性硬化患者发作性OTR,提供了首份临床公认的人类OTR报告。1979年,Halmagyi等^[4]记录了1例单侧镫骨切除术后部分医源性椭圆囊损伤导致的可逆性强直性OTR,且明确地将其归因于前庭通路单侧损伤后产生的一种代偿反应,该前庭通路起始于一侧椭圆囊,并投射到对侧脑干。1987年,Brandt和Dieterich^[5]在对中脑喙侧受损和延髓外侧受损的OTR报道中,首次描述了OTR的第4个体征,即主观视觉垂直的倾斜现象,提示OTR是涉及姿势、眼动和知觉3方面异常的综合征。

2 OTR通路及可能的机制

OTR是椭圆囊和垂直半规管介导的重力通路在冠状平面不平衡所致。生理情况下,如摩

托车骑手在引起身体倾斜的急转弯时,头和身体向右倾斜,刺激右侧椭圆囊使其放电频率增加,兴奋通过椭圆囊的传入神经到达右侧延髓前庭神经核突触,并沿同侧的椭圆囊-眼动纤维继续向上传入,在脑桥延髓交界处交叉到对侧,而后汇入左侧内侧纵束(medial longitudinal fasciculus, MLF)上传,经左侧MLF到达左侧中脑的动眼神经核和滑车神经核,产生左眼外旋向下和右眼内旋向上的运动。最后,在左侧MLF上行的部分椭圆囊传入纤维与负责垂直和扭转凝视的左侧Cajal间质核(interstitial nucleus of Cajal, INC)形成突触,使得在头部倾斜的同时,眼睛能够维持在所需位置上。该通路是前庭-眼反射(vestibulo-ocular reflex, VOR)的基础,向上通过丘脑投射到顶岛-前庭皮质(parieto-insular vestibular cortex, PIVC)保持垂直感知;向下与前庭-脊髓反射(vestibulo-spinal reflex, VSR)相连,将头部重新定向到重力垂直方向,控制头部和身体的姿势。头倾斜是人类生理性OTR的主要组成部分^[6-8],由于大幅度的代偿性头倾斜反射减少了对代偿性眼扭转反射的需求,静态眼球反向旋转(眼球倾斜反应的扭转成分)仅补偿头部倾斜的10%~15%^[9,10]。

临床上,病理性OTR有2种类型,包括“上行”脑桥延髓VOR-OTR型和“下行”中脑整合-OTR型^[11,12]。(1)“上行”VOR-OTR型:由椭圆囊、垂直半规管、前庭神经或前庭神经核损伤或病理性兴奋引起。其中,眼扭转共轭与否的问题似乎常与前、后半规管部分/全部受损有关。(a)当一侧椭圆囊损伤时,对侧椭圆囊相对兴奋,引起健侧上直肌和上斜肌,以及患侧下直肌、下斜肌相对兴奋,使得双眼向患侧扭转;当前半规管受损时,患侧下直肌及健侧上斜肌相对兴奋,引起患侧眼向下、健侧眼内旋;当后半规管受损时,患侧下斜肌及健侧上直肌相对兴奋,使得患侧眼外旋、健侧眼向上。(b)当一侧脑桥交叉处的重力通路及以上如脑桥、中脑损伤时,常表现为偏斜-扭转和SVV倾斜而无头倾斜。(2)“下行”中脑整合-OTR型:由中脑喙侧整合中心的损伤导致,其在冠状平面和俯仰平面中进行眼头协调。该通路起自INC,沿MLF到脑桥水平,通过具有复

作者单位

1. 航天中心医院
(北京大学航天临床医学院)神经内科

北京 100049

2. 锦州医科大学附属第一医院神经内科

辽宁 锦州 121012

基金项目

北京市海淀区卫生健康发展科研教育计划(No. HP2021-03-50703)

收稿日期

2022-02-22

通讯作者

杨旭

xuyanghangtian@

163.com

杂轴突分支的同侧兴奋性投射实现眼睛和头部的冠状运动,并涉及下行通路,如顶盖脊髓神经元。因此损伤时常表现为完整的OTR,且以眼球共轭扭转为特征,但在临床上,若合并核间性眼肌麻痹,即动眼或滑车神经核团受损时,常表现为非共轭扭转。

3 OTR临床检测与注意事项

3.1 头倾斜

在测量前应注意询问患者头倾斜的病史并检查患者是否存在肌肉、骨骼疾病,如斜颈、脊柱侧弯、骨盆侧倾等;是否存在眼肌或眼动神经麻痹,如上斜肌麻痹、滑车神经损伤等;这些均可引起头倾斜但不是OTR。测量角度为头部矢状轴与重力的夹角。测量工具可以是前庭检查室自制的量角器,也可借手机中的测量软件。

3.2 眼球扭转

眼底摄像机拍摄眼底片可以客观评价眼球扭转/眼扭转存在与否、扭转度数及类型。无法拍摄眼底片时,可通过双马氏杆眼镜了解有无眼扭转,但此方法有一定的主观成分。临床上最常用的眼扭转的角度是测量水平线与过视盘中点和黄斑中点连线的夹角,正常值范围为 $0^{\circ} \sim 11.5^{\circ}$ ^[13]。临床上,对OTR相关的眼扭转的判断,应首先与眼肌麻痹和眼动神经病变相关的眼扭转进行鉴别,如上斜肌麻痹、下斜肌麻痹、滑车神经损伤等。二者可通过直立-仰卧试验或分别测量两眼的垂直知觉进行鉴别,如利用双马氏杆眼镜、SVV等工具:由于眼肌或颅神经损伤常局限于某条肌肉或某个神经,因此测得的两眼的垂直知觉不平行,而OTR涉及多个与该通路相关的眼肌和眼动神经,因而两眼的垂直知觉是相对平行的^[14]。

3.3 眼反向偏斜

临床上,眼反向偏斜/眼偏斜同样常需要与眼肌、颅神经病变进行鉴别,因二者均可引起双眼在垂直方向不一致的眼垂直错位。眼偏斜的主要检测方法包括角膜映光法、交替遮盖检查、马氏杆或红色滤光片检查、直立-仰卧试验、九眼位检查等。

3.4 主观视觉垂直试验

SVV是OTR四联征中最敏感的指标。目前报道的检测方法包括半球穹顶法、桶测法、棒框实验及计算机化的SVV。计算机化的SVV目前在临床应用最多:患者在暗视野下,将投影在墙上、呈现在计算机屏幕上、佩戴的VR眼镜内亦或是在移动手机上的发光条调至自己认为的重力垂直线位置,并通过计算机记录SVV的偏斜情况。目前研究人员已不再局限于记录头正位的SVV,而开始挖掘可能反映椭圆囊潜在功能的头倾斜情况下的SVV^[15],基于不同背景下的SVV^[16]及联合转椅试验的动态SVV^[17]。研究表明,主观视觉水平线(subjective visual horizontal, SVH)与SVV存在高度的相关性,因此具有相同的检查效能^[18]。影响SVV结果的因素有很多,包括衰老^[19]、老年人散光^[20]、不对称的足底传入^[21,22]、长时间的身体倾斜^[23]等。因此在SVV试验前应规避可能影响结果的体感接触,在试验结束后对异常结果应进行多方面考虑。

4 OTR在不同疾病中的应用

4.1 外周前庭病变

外周前庭重力传导通路损害常见于椭圆囊、垂直半规管和前庭神经病变,且多引起病变同侧OTR。目前,临床上OTR主要应用与以下疾病:

4.1.1 良性阵发性位置性眩晕(benign paroxysmal positional vertigo, BPPV) OTR在BPPV中的应用主要集中在知觉方面,复位前SVV异常可达45%~77.8%,而在复位后仍存在异常仅10%左右^[23]。在既往的认识和研究中,SVV的倾斜方向应与BPPV患侧相同,但有学者发现约10%患者的SVV可朝向健侧^[24]。除在知觉方面的应用外,Best C等^[25]研究显示BPPV患者的眼扭转与健康人无统计学差异;Gufoni M等^[26]研究表明,OTR中的眼偏斜多发生在耳石症后椭圆囊机械性损伤的早期。

4.1.2 前庭神经炎 OTR在急性前庭上神经炎患者中非常常见,但大多表现为部分OTR,而完整的OTR较少见。在1项对51例急性前庭神经炎患者的研究中,SVV、眼扭转和眼偏斜的阳性率分别为94%、82%和14%,而表现为完整OTR的患者仅2例^[27]。研究表明大多数急性前庭上神经炎的SVV倾斜在3~6个月可恢复到正常水平,而眼扭转的恢复需要长达1年甚至更久,提示眼扭转可能是判断是否残留外周耳石功能受损的良好指标^[28]。Kemar E等^[29]在对7例急性前庭上神经炎的观察研究发现,所有患者均有1~2PD微弱的眼偏斜,且在1~2周内消失。此外,研究表明,扩展SVV测试的倾斜角度(如 $\pm 30^{\circ}$ 、 $\pm 45^{\circ}$ 等)亦有助于识别OTR阳性率较低的慢性前庭神经炎^[30]。

4.1.3 梅尼埃病(Meniere's disease, MD) MD患者多表现为以SVV倾斜和眼扭转为主的部分OTR,发作期有63.6%存在SVV倾斜,36%患者存在异常眼扭转,而在恢复期,SVV异常患者占23%,眼扭转异常的患者占16.7%~19%^[31];眼偏斜在MD中仅为个例出现,在应用鼓室内注射庆大霉素治疗顽固性症状的早期(3~8天)可引起朝向患侧的眼偏斜,并可在4~8周内自行消退,提示眼偏斜可能是鼓室内注射庆大霉素的潜在并发症^[32];目前尚无报道强调MD患者(手术前)的头倾斜现象。此外,OTR的朝向在MD的急、慢性期有所不同。在MD的急性期OTR可朝向健侧。Faralli等^[33]研究了7例首次发作的MD患者SVV,其中3例朝向同侧,4例朝向健侧;Kumagai等^[34]研究了14例发作期MD患者的SVH,发现1例朝向健侧的SVH;Nham等^[18]回顾了52例朝向对侧SVH的患者,其中67.3%为MD,7.7%为迟发性内淋巴积水,其余25%患者病因不明。因此反向OTR可能与MD急性期的积水刺激引起椭圆囊活动增强有关。而在对MD慢性期的研究中,尚未报道有反向OTR的存在。

4.1.4 术后OTR 临床上,前庭神经/迷路切除术后也可引起OTR。研究发现,接受前庭神经切除术的患者常出现同侧OTR和轻度的垂直复视,其中头倾斜、眼偏斜、眼扭转可持续2~24个月,但复视多在3周内恢复正常;而接受镫骨手术、鼓室形成术和人工耳蜗植入术的患者则可能出现对侧OTR,这可能是由于术后临近结构的炎症和椭圆囊病理性传入增加所致^[35-37]。

4.2 中枢前庭损害

中枢前庭重力传导通路损害可见于脑干、内侧纵束、小脑、丘脑及前庭皮质中枢,其中以脑干和小脑病变多见。

4.2.1 脑干 脑干的重力传导通路起自前庭神经核,在脑桥水平经内侧纵束交叉到对侧抵达中脑 INC。因此,位于交叉之前的延髓和脑桥下部的病变表现为同侧 OTR;位于交叉之后的脑桥上与中脑表现为对侧 OTR,但在对侧的刺激激发性病变中,则表现为同侧 OTR^[14]。研究表明,在单侧脑干损伤中,SVV 和眼扭转是最敏感的体征,分别为 94%和 83%,眼偏斜为 31%,而表现出完整的 OTR 三联征患者仅占 20%^[38]。

4.2.2 内侧纵束 MLF 的局灶性病变是产生 OTR 的常见原因。在 1 项对 10 例孤立性单侧核间性眼肌麻痹患者的研究中,所有患者均表现出部分或完整的偏向对侧的 OTR,主要以眼扭转、眼偏斜和 SVV 为主^[39]。由于重力感受通路和眼动核团之间的核间连接沿着 MLF 传递,脑桥病变引起的眼偏斜扭转常与核间性眼肌麻痹有关,高位眼一侧多为病变侧。

4.2.3 小脑 小脑在一定程度上参与了前庭重力传导通路,且 OTR 在小脑不同部位的病变朝向的方向也有所不同。有学者认为,小脑是通过局灶性损伤后对前庭神经核抑制来参与前庭重力传导通路,介导 OTR;也有学者认为,前庭小脑参与调节耳石-眼动连接活动,其在静态耳石输入时协调眼球扭转运动并将其维持在正确位置上,损伤时则引起 OTR。但由于缺乏系统的临床研究,人们对小脑引起 OTR 的机制认识有限。研究发现,齿状核、小脑中脚、小结叶、绒球、蚓垂受损时可导致对侧 OTR,同侧 OTR 较少见,多与二腹小叶和下半月叶受损有关。在 1 项纳入 31 例单侧小脑梗死患者的研究中,所有患者均表现为 SVV 倾斜,其中 74%的患者 SVV 偏向对侧,26%的患者偏向同侧;在 SVV 偏向对侧的患者中分别有 57%、26%、35%患者存在眼扭转、眼偏斜、头倾斜;在 SVV 偏向同侧的患者中眼扭转、眼偏斜、头倾斜分别占 50%、25%、50%^[41]。可以看出,在小脑病变中,SVV 依旧是最敏感的指标。

4.2.4 丘脑 由于介导眼扭转、眼偏斜及头倾斜的传导通路在中脑 INC 水平结束,因此当丘脑以上水平损伤时仅表现为轻微 SVV 的倾斜(4°~6°)^[5]而无 OTR 的其他组成部分,即无头倾斜、眼扭转和眼偏斜。丘脑由不同的亚核组成,但不同的亚核损伤 SVV 倾斜方向却并不一致。为确定与对侧或同侧 SVV 倾斜相关的独特丘脑亚核,Glasauer S 等^[41]对 37 例急性局限性丘脑卒中患者进行病变图谱分析,发现了 2 个用于重力处理的不同区域:①对侧 SVV 倾斜是由背内侧核、板内核、丘脑中央核、丘脑腹后核、前腹侧核、腹内侧核中部、腹尾核及上部束旁核病变引起;②同侧 SVV 倾斜多由较低位置的损伤引起,包括下丘脑内核、丘脑旁束状核的下部。这提示前庭网络中存在独立的重力结构,一旦受损,就会导致对侧或同侧的 SVV 倾斜。

4.2.5 前庭皮质 动物和人类的研究表明,大脑皮质网络主要分布在颞叶、岛叶和顶叶皮质。这些皮质区域的前庭或视觉-前庭联合激活主要集中在颞顶叶交界处。研究表明,前庭神经核与同侧和对侧 PIVC 之间有 5 条不同的前庭通路,3 条同侧传导通路通过丘脑后外侧或旁正中亚核,或绕过丘脑直接投射到

下岛叶皮质,另外 2 条则在脑桥或中脑水平交叉至对侧,穿过丘脑后外侧丘脑到达前庭皮质。因此,前庭皮质受损时,SVV 既可向患侧倾斜,也可向健侧倾斜,这一点与丘脑病变相同。一般来说,右半球病变的 SVV 偏差往往更大、持续时间更长,且更常偏向对侧^[5,41]。

5 结语

综上所述,介导 OTR 三联征相关的前庭重力传导通路从外周迷路发出,向下与 VSR 相连控制头部和身体的协调运动,向上经延髓到脑桥处进行交叉至中脑(riMLF/INC)通过丘脑投射到 PIVC 提供垂直感知。通常,外周前庭和延髓脑桥交叉前的病变中为同侧 OTR 受损,而脑桥交叉后的病变中为对侧 OTR 受损。临床上,OTR 在辅助疾病的诊断中具有其独特的优势,但并非所有患者都符合上述规律,亦需要临床医生结合病史、神经眼科学及其他前庭功能检查进行综合判断,尤其在疾病中为什么 OTR 三联征发生率差异较大? 如何理解椭圆囊与垂直半规管通路二者的 OTR 受损差异? OTR 中眼扭转的共轭/非共轭、眼反向偏斜在中枢/外周受损差异的原因? 小脑不同的部位 OTR 受损定位问题? 丘脑和皮层不同部位 SVV 侧别的异质性问题? 及不同疾病不同时期的 OTR 动态改变等问题,值得进一步进行深入研究。

致谢:感谢首都医科大学附属北京同仁医院眼科傅涛主任医师、首都医科大学附属北京同仁医院神经内科崔世磊副主任医师、航天中心医院(北京大学航天临床医学院)眼科于璐副主任医师对本综述给予的学术指导和支持!

参考文献

- [1] Brandt T, Dieterich M. Vestibular syndromes in the roll plane: topographic diagnosis from brainstem to cortex[J]. Ann Neurol, 1994, 36: 337-347.
- [2] Westheimer G, Blair SM. [Synkinesis of head and eye movements evoked by brainstem stimulation in the alert monkey]. Exp Brain Res, 1975, 24: 89-95.
- [3] Rabinovitch HE, Sharpe JA, Sylvester TO. The ocular tilt reaction. A paroxysmal dyskinesia associated with elliptical nystagmus[J]. Arch Ophthalmol, 1977, 95: 1395-1398.
- [4] Halmagyi GM, Gresty MA, Gibson WP. Ocular tilt reaction with peripheral vestibular lesion[J]. Ann Neurol, 1979, 6: 80-83.
- [5] Brandt T, Dieterich M. Pathological eye-head coordination in roll: tonic ocular tilt reaction in mesencephalic and medullary lesions[J]. Brain, 1987, 110: 649-666.
- [6] Brodsky MC, Donahue SP, Vaphiades M, et al. Skew deviation revisited[J]. Surv Ophthalmol, 2006, 51: 105-128.
- [7] Dieterich M, Brandt T. Perception of Verticality and Vestibular Disorders of Balance and Falls[J]. Front Neurol, 2019, 10: 172.
- [8] Choi WY, Gold DR. Ocular Motor and Vestibular Disorders in Brainstem Disease[J]. J Clin Neurophysiol, 2019, 36: 396-404.
- [9] Collewijn H, Van der Steen J, Ferman L, et al. Human ocular counterroll: assessment of static and dynamic properties from electromagnetic scleral coil recordings[J]. Exp Brain Res, 1985, 59: 185-196.
- [10] Vogel H, Thümler R, von Baumgarten RJ. Ocular counterrolling. Some practical considerations of a new evaluation method for diagnostic purposes[J]. Acta Otolaryngol, 1986, 102: 457-462.
- [11] Brandt T, Dieterich M. Two types of ocular tilt reaction: the

- 'ascending' pontomedullary VOR-OTR and the 'descending' mesencephalic integrator-OTR[J]. *Neuroophthalmology*, 1998, 19: 83-92.
- [12] Dieterich M, Brandt T. The bilateral central vestibular system: its pathways, functions, and disorders[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2015, 1343: 10-26.
- [13] Dieterich M, Brandt T. Ocular torsion and tilt of subjective visual vertical are sensitive brainstem signs[J]. *Ann Neurol*, 1993, 33: 292-299.
- [14] 田军茹. 眩晕诊治[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2015.
- [15] Sakagami M, Wada Y, Shiozaki T, et al. Results of subjective visual vertical tests in patients with vertigo/dizziness[J]. *Auris Nasus Larynx*, 2021, S0385-8146(21)00234-0. .
- [16] Faralli M, Ricci G, Molini E, et al. Determining subjective visual vertical: dynamic versus static testing[J]. *Otol Neurotol*, 2007, 28: 1069-1071.
- [17] Dai MJ, Curthoys IS, Halmagyi GM. Linear acceleration perception in the roll plane before and after unilateral vestibular neurectomy[J]. *Exp Brain Res*, 1989, 77: 315-328.
- [18] Nham B, Welgampola MS, Halmagyi GM. Contralesional subjective visual horizontal predicts endolymphatic hydrops[J]. *Acta Otolaryngol*, 2020, 140: 833-837.
- [19] Davalos-Bichara M, Agrawal Y. Normative results of healthy older adults on standard clinical vestibular tests[J]. *Otol Neurotol*, 2014, 35: 297-300.
- [20] Elliott DB, Black AA, Wood JM. Subjective Verticality Is Disrupted by Astigmatic Visual Distortion in Older People[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020, 61: 12.
- [21] Faralli M, Longari F, Ricci G, et al. Influence of extero- and proprioceptive afferents of the plantar surface in determining subjective visual vertical in patients with unilateral vestibular dysfunction[J]. *Acta Otorhinolaryngol Ital*, 2009, 29: 245-250.
- [22] Foisy A, Kapoula Z. Plantar cutaneous afferents influence the perception of Subjective Visual Vertical in quiet stance[J]. *Sci Rep*, 2018, 8: 14939.
- [23] Tani K, Yamamoto S, Kodaka Y, et al. Dynamic arm movements attenuate the perceptual distortion of visual vertical induced during prolonged whole-body tilt[J]. *PLoS One*, 2021, 16: e0250851.
- [24] Van Nuchel C, Toupet M, Bodson I. The subjective visual vertical[J]. *Adv Otorhinolaryngol*, 2001, 58: 77-87.
- [25] Best C, Eckhardt-Henn A, Diener G, et al. Interaction of somatoform and vestibular disorders[J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2006, 77: 658-664.
- [26] Gufoni M, Vianini M, Casani AP. Analysis of the Skew Deviation to Evaluate the Period of Onset of a Canalolithiasis After Macular Damage [J]. *Front Neurol*, 2020, 11: 572531.
- [27] Kim HA, Hong JH, Lee H, et al. Otolith dysfunction in vestibular neuritis: recovery pattern and a predictor of symptom recovery[J]. *Neurology*, 2008, 70: 449-453.
- [28] Faralli M, Ricci G, Manzari L, et al. Different time course of compensation of subjective visual vertical and ocular torsion after acute unilateral vestibular lesion[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2021, 278: 2269-2276.
- [29] Green KE, Gold DR. HINTS Examination in Acute Vestibular Neuritis: Do Not Look Too Hard for the Skew[J]. *J Neuroophthalmol*, 2021, 41: e672-e678.
- [30] Müller JA, Bockisch CJ, Tamutzer AA. Spatial orientation in patients with chronic unilateral vestibular hypofunction is ipsilesionally distorted [J]. *Clin Neurophysiol*, 2016, 127: 3243-3251.
- [31] Choi JW, Kang SI, Rhee JH, et al. Clinical implication of ocular torsion in peripheral vestibulopathy[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2015, 272: 1613-1617.
- [32] Dresner SM, Kung NH, Palko JR, et al. Skew Deviation and Partial Ocular Tilt Reaction Due to Intratympanic Gentamicin Injection, with Review of the Literature[J]. *Neuroophthalmology*, 2017, 41: 268-270.
- [33] Faralli M, Lapenna R, Mandalà M, et al. The first attack of Ménière's disease: a study through SVV perception, clinical and pathogenetic implications[J]. *J Vestib Res*, 2014, 24: 335-342.
- [34] Kumagami H, Sainoo Y, Fujiyama D, et al. Subjective visual vertical in acute attacks of Ménière's disease[J]. *Otol Neurotol*, 2009, 30: 206-209.
- [35] Tribukait A, Bergenius J. The subjective visual horizontal after stapedotomy: evidence for an increased resting activity in otolithic afferents[J]. *Acta Otolaryngol*, 1998, 118: 299-306.
- [36] Wolfe GI, Taylor CL, Flamm ES, et al. Ocular tilt reaction resulting from vestibuloacoustic nerve surgery[J]. *Neurosurgery*, 1993, 32: 417-420.
- [37] Kumar L, Thakar A, Thakur B, et al. Sensitivity and Specificity of Clinical and Laboratory Otolith Function Tests[J]. *Otol Neurotol*, 2017, 38: e378-e383.
- [38] Oh SY, Choi KD, Shin BS, et al. Paroxysmal ocular tilt reactions after mesodiencephalic lesions: report of two cases and review of the literature [J]. *J Neurol Sci*, 2009, 277: 98-102.
- [39] Choi SY, Kim HJ, Kim JS. Impaired vestibular responses in internuclear ophthalmoplegia: Association and dissociation[J]. *Neurology*, 2017, 89: 2476-2480.
- [40] Baier B, Bense S, Dieterich M. Are signs of ocular tilt reaction in patients with cerebellar lesions mediated by the dentate nucleus[J]. *Brain*, 2008, 131: 1445-1454.
- [41] Glasauer S, Dieterich M, Brandt T. Neuronal network-based mathematical modeling of perceived verticality in acute unilateral vestibular lesions: from nerve to thalamus and cortex[J]. *J Neurol*, 2018, 265: 101-112.

(本文编辑:唐颖馨)