

特发性突发性感音神经性聋患者耳石器损伤 对行走平衡的影响*

周任红¹ 刘波¹ 张甦琳¹ 刘晶晶¹ 王洪昌¹ 孔维佳¹

[摘要] 目的:本研究以特发性突发性感音神经性聋(ISSNHL)患者为外周前庭功能异常疾病的模型,在应用视频头脉冲试验(vHIT)、颈性前庭诱发肌源性电位(cVEMP)测试、眼性前庭诱发肌源性电位(oVEMP)测试定位前庭病变部位的基础上,探讨半规管、球囊和椭圆囊功能对行走平衡的影响。方法:对 23 例单侧 ISSNHL 患者(其中 14 例伴眩晕)进行了纯音测听、步行试验、vHIT 试验、cVEMP 测试和 oVEMP 测试。结果:椭圆囊功能与步长显著相关,球囊功能分别与步速和步宽显著相关。半规管功能和步态参数没有关系。结论:ISSNHL 患者耳石器功能受损可能导致步速减缓、步长变短、步宽变宽。

[关键词] 聋,突发性;前庭功能;行走平衡

DOI:10.13201/j.issn.2096-7993.2021.07.013

[中图分类号] R764.437 **[文献标志码]** A

The relationship between vestibular function and gait parameters in vestibular dysfunctional patients with idiopathic sudden sensorineural hearing loss

ZHOU Renhong LIU Bo ZHANG Sulin LIU Jingjing
WANG Hongchang KONG Weijia

(Department of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430022, China)

Corresponding author: KONG Weijia, E-mail: entwjkong@hust.edu.cn

Abstract Objective: Based on the application of vHIT, cVEMP test and oVEMP test to locate the peripheral vestibular lesions, we aimed to explore the relationship between vestibular function(semicircular canal and otolith function) and gait parameters in vestibular dysfunctional patients with idiopathic sudden sensorineural hearing loss (ISSNHL). **Methods:** In this study, 23 ISSNHL patients(including 14 patients with vertigo) were enrolled. All patients underwent audiometry, Walk Across, vHIT, cVEMP test and oVEMP test. **Results:** Vestibular otolith function was significantly associated with gait parameters. Semicircular canal function was not associated with any gait parameter. **Conclusion:** Reduced otolith function was associated with slower and wider steps in patients with ISSNHL. These results indicate that vestibular signals may contribute to specific aspects of gait.

Key words deafness,sudden; vestibular function; walking balance

平衡控制是一个复杂的过程,不仅包括视觉、前庭觉和本体觉信息的整合,也包括中枢神经系统分析并产生最终决策和运动输出。前庭系统可分为两个部分:感受头部的线性加速度信息的耳石器

(球囊和椭圆囊)和感受头部旋转的角加速度信息的三对半规管。耳石器作为前庭脊髓反射(vestibulo-spinal reflex, VSR)通路的重力感受器有助于维持平衡,半规管损伤会影响前庭眼反射通路。前庭觉输入对于人体控制头部直立和躯体的空间方位非常重要^[1]。前庭功能的一系列测试被用来全面评估前庭受损情况。前庭诱发肌源性电位(vestibular evoked myogenic potential, VEMP)是临床上前庭耳石器功能检测方法上的一大进步,视频头

*基金项目:华中科技大学同济医学院附属协和医院“药技护”专项基金(No:02.03.2017-287);“十二五”国家科技支撑计划(No:2012BAI12B02)

¹华中科技大学同济医学院附属协和医院耳鼻咽喉头颈外科(武汉,430022)

通信作者:孔维佳,E-mail:entwjkong@hust.edu.cn

[14] 李泽南,严尚,王丽,等.鼻中隔后端犁骨切除后鼻孔成形术治疗先天性后鼻孔闭锁五例[J].中华耳鼻咽喉头颈外科杂志,2020,55(8):779-782.

[15] Tatar EÇ,Öcal B,Doğan E,et al. Stentless endoscopic repair of congenital choanal atresia: is it enough for maintaining choanal patency? [J]. Eur Arch Otorhinolaryngol,2017,274(10):3673-3678.

[16] Alice KY,Jacky FW. Surgery for congenital choanal

atresia[J]. Oper Tech Otolaryngol Head Neck Surg, 2021,32(1):31-38.

[17] Yatish Kumar BL, Vibha B. Transnasal endoscopic microdrilling with steroid douching for bony choanal atresia: a novel approach [J]. Indian J Otolaryngol Head Neck Surg,2021, 73(2):193-196.

(收稿日期:2021-03-24)

脉冲试验(video head impulse test, vHIT)可以检测三对半规管的功能状态。

临床上常用姿势图来评估平衡功能,也就是VSR代偿的程度。有学者利用姿势图(计算机动态姿势图或海绵垫)来探索耳石器功能和站立平衡的关系^[2-3],但是姿势图只能测试静态平衡而不是动态平衡(如行走或跑步),而大多数日常活动需要良好的行走平衡。对前庭系统受损后的行走平衡的研究,大部分集中于报道前庭障碍患者(如前庭神经炎和听神经瘤等)和健康对照者之间步态参数的差异^[4-7]。关于前庭病变部位和步态参数之间的关系报道很少,研究结论也并不一致。有研究表明水平半规管前庭眼动反射(vestibulo ocular reflex, VOR)增益的变化与使用量表测量的半定量步态参数相关^[8]。而对急性单侧前庭外周前庭损伤的患者进行vHIT和转椅试验测试得到的水平半规管VOR增益与步态参数没有显著相关性^[9]。并且在上述研究中,垂直半规管和耳石器的功能尚未报道。

外周前庭功能异常疾病,如特发性突发性感音神经性聋(idiopathic sudden sensorineural hearing loss, ISSNHL),尽管主要症状表现在耳蜗,但是也可能影响到前庭系统,在临床上引起眩晕^[10]。多项研究显示,ISSNHL患者可以出现不同程度的颈性前庭诱发肌源性电位(cVEMP)、眼性前庭诱发肌源性电位(oVEMP)异常和温度试验异常^[2,11]。即使在无明显前庭症状的ISSNHL患者中,也会发生隐匿的球囊、椭圆囊和半规管的功能检查异常^[12-13]。不论伴或不伴眩晕,ISSNHL患者病变范围都可能累及整个内耳,应该给予相应的干预^[14]。

本研究以ISSNHL患者为外周前庭功能异常疾病的模型,对单侧外周前庭功能异常患者进行步行试验、vHIT试验、cVEMP测试和oVEMP测试,定位前庭病变部位,探索前庭病变部位对步态参数的影响,探索ISSNHL患者前庭功能和行走平衡之间的关系。

1 资料与方法

1.1 临床资料

这是一项在华中科技大学同济医学院附属协和医院耳鼻咽喉头颈外科进行的前瞻性研究。2019年1月—2019年9月,因突发性听力下降到我科就诊并住院的患者,且符合2012年美国耳鼻咽喉头颈外科学会(American Academy of Otolaryngology Head and Neck Surgery, AAO-HNS)提出的ISSNHL诊断标准^[10]。所有受试者均进行纯音测听、步行试验、vHIT试验、cVEMP测试和oVEMP测试。23例受试者中,男10例,女13例;年龄18~66岁,平均(40.1±13.7)岁;身高152~

170 cm,平均(159.8±6.1) cm;病程4~30 d,平均(15.6±8.4) d。其中14例伴眩晕,9例不伴眩晕。纳入标准:对侧耳的纯音测听、vHIT试验、cVEMP测试和oVEMP测试结果正常,即消除了老龄化对前庭功能的影响。受试者均无自发性眼震,说明已经完成了静态的前庭功能代偿。排除研究标准为:①梅尼埃病、复发性前庭病变或BPPV;②通过ABR和MRI成像检测出中枢神经系统或耳蜗后受损,如患有听神经瘤;③有脑外伤、中耳炎或者耳鸣等病史;④有可能干扰正常行走的病史,如眼部疾病、肌肉骨骼系统疾病或者神经系统疾病。所有受试者均签署了知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 行走平衡 行走平衡用步行试验来检测。受试者脱去鞋袜,正中站立在距离平板平衡仪(Balance Master, NeuroCom)约50 cm的起始点。当“走”的指令出现在屏幕上时,要求受试者从起始点以他们自己日常的步行速度走过这块长150 cm、宽45 cm的平板,在距离平板的末端约50 cm的终点结束步行。每个步行试验的前两步和最后两步都未被平板的传感器记录,以消除分析中的加速和减速阶段。测试参数包括步速(cm/s)、步长(cm)和步宽(cm),以3次测试的平均值用来评价行走的步态稳定性。

1.2.2 前庭功能测试 受试者进行vHIT试验、cVEMP测试、oVEMP测试的详细方法^[2]包括:①vHIT试验:受试者佩戴一个轻便的、紧密贴合的护目镜,护目镜上安装一个内置惯性测量装置(用于记录头部速度)和一个摄像机(用于记录眼球运动)。受试者面朝墙正对着在1.2 m外的墙壁上的凝视目标,头部被动的随机旋转,幅度较小(5~15°),头脉冲峰值速度为150~250°/s。至少每个方向都有20个脉冲。本研究中如果vHIT增益<0.8则视为异常。②cVEMP测试:受试者按要求坐在椅子上,头转向测试耳的对侧以刺激胸锁乳突肌。肌电信号由Eclipse系统(Interacoustics)记录。测试的银盘电极置于测试耳同侧胸锁乳突肌上1/3处肌肉表面,接地电极置于前额,参考电极置于胸锁关节处。本研究使用气导短纯音(500 Hz, 5 ms)作为刺激声,以100 dB nHL的水平通过耳机传入单耳。每次测试至少包含平均100个刺激声。每次测试结束后,p13和n23的峰值都被标示出来。以下情况中cVEMP结果被认为是异常:a. 振幅不对称率(asymmetry ratio)大于 $\bar{x} \pm 2s$ (本研究划定振幅不对称率>36%);b. cVEMP的峰峰值缺失或者减小;c. cVEMP的潜伏期变化位于 $\bar{x} \pm 2s$ 的范围之外(反应延迟)。③oVEMP测试:oVEMP与cVEMP的测试系统相同。信号是从刺激耳对侧的眼下斜肌上记录并进行评估。测试时

受试者坐在椅子上,按要 求眼睛盯着前方墙面中 线上的固定红点不动。每 次测试均要求受试者抬 高目光保持凝视,大约 水平面向上 30°的方向 不变。本研究把测试电 极放置于对侧的眼下斜 肌表面,接地电极放置 于前额,参考电极放置 于下巴处。oVEMP 测 试与 cVEMP 测试的刺 激声相同。当每次测试 结束后,p10 和 n15 的 峰值都被标示出来。以 下情况中 oVEMP 结果 被认为是异常:a. 在至 少 50 次响应后 oVEMP 的双相波仍缺失;b. 振幅不 对称率大于 $\bar{x} \pm 2s$ (本 研究划定振幅不对称率 > 40%)。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 24.0 统计 学软件对相关数据进行 分析。采用 Kendall's tau 相关分析来研究步态参 数和下列独立变量之间 的关系:性别(男性=1, 女性=2),年龄(范围 18~66 岁),身高(152~170 cm),cVEMP 测试结果 (正常=1,异常=0), oVEMP 测试结果(正常 =1,异常=0),以及 vHIT 试验的三对半规管的 测试结果:水平半规管 (正常=1,异常=0)、前 半规管(正常=1,异常 =0)、后半规管(正常 =1,异常=0)。筛选出 与步态参数相关的影 响因素后,通过多重线 性回归方法生成回归 模型。

有统计学意义的前庭 终器(正常/异常)组间 的步速、步长、步宽都 用 Shapiro-Wilk 方法进 行分析,以确定是否符 合正态分布。组间比较 采用独立样

本 Mann-Whitney U 检 验,该方法属于非参数 统计学方法。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 耳石器功能对行走平衡的影响

多因素调整后显示 cVEMP 与步速呈正相关 ($r=0.484, P=0.039$), 年龄与步速呈负相关 ($r=-0.508, P=0.012$)。在拟合回归模型中,调整 R 方为 0.394, F 为 5.233 ($P=0.025$),表明模型有 统计学意义。研究结果 表明 cVEMP 作为一个 独立变量,对步速有影 响。cVEMP 结果异常 组的步速(69.24 ± 5.18) cm/s 与正常组 (81.82 ± 3.76) cm/s 相比明显减慢 ($P=0.043$),见图 1。

多因素调整后显示 oVEMP 与步长呈正相关 ($r=0.494, P=0.035$), 年龄与步长呈负相关 ($r=-0.420, P=0.037$)。在拟合回归模型中,调整 R 方为 0.429, F 为 5.876 ($P=0.018$),表明模型有 统计学意义。研究结果 表明 oVEMP 作为一个 独立变量,对步长有影 响。oVEMP 结果异常 组的步长(48.00 ± 3.74) cm 与正常组 (59.62 ± 1.14) cm 相比明显减小 ($P=0.038$),见图 2。

多因素调整后显示 cVEMP 与步宽呈负相关 ($r=-0.454, P=0.035$)。研究结果表明 cVEMP 作为一个独立变量,对步宽有影响。cVEMP 结果异常组的步宽 (16.78 ± 1.50) cm 与正常组 (11.44 ± 1.36) cm 相比明显增加 ($P=0.039$),见图 3。

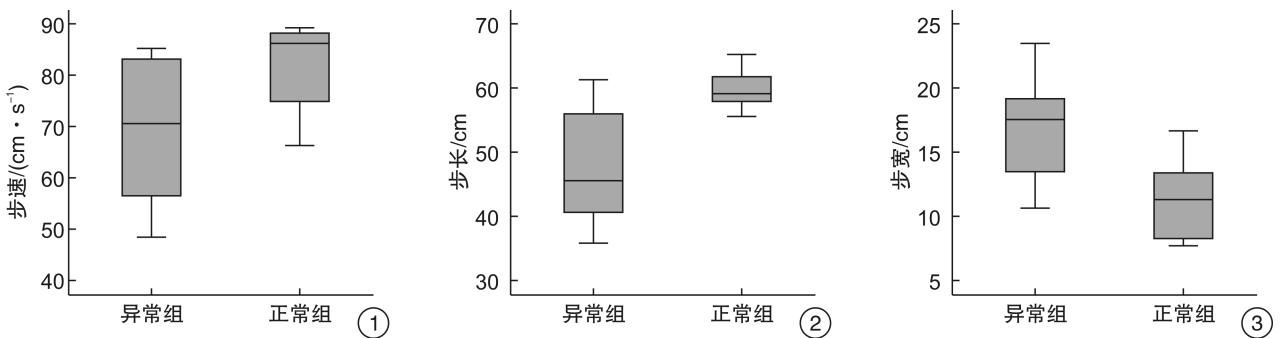


图 1 cVEMP 结果异常组(cVEMP=0)和正常组(cVEMP=1)的步速对比; 图 2 oVEMP 结果异常组(oVEMP=0)和正常组(oVEMP=1)的步长对比; 图 3 cVEMP 结果异常组(cVEMP=0)和正常组(cVEMP=1)的步宽对比

2.2 半规管功能对行走平衡的影响

Kendall's tau 相关分析显示,vHIT 测试的前半规管、后半规管以及水平半规管的功能,与步态参数(步速、步长和步宽)均没有明显相关关系。

3 讨论

本研究结果显示耳石器功能与步态参数显著相关。椭圆囊功能异常(oVEMP 结果异常)可能导致步长变短,椭圆囊功能异常组的步长显著低于椭圆囊功能正常组。这提示椭圆囊功能异常的信息输入引起人体步态模式改变,通过缩短步长来维

持行走平衡。球囊功能受损(cVEMP 结果异常)可能引起步速变慢和步宽增宽。球囊功能异常组的步速显著低于球囊功能正常组。提示球囊功能异常的信息输入导致人体步态模式改变,通过减缓步速和增宽步宽来维持行走平衡。先前的研究表明,与健康对照组相比,前庭疾病患者的步速较慢和步长较短^[7,15-16]。这与我们的观察结果一致。Layman 等^[17]通过对老年人进行 cVEMP 和 oVEMP 测试,发现步速与球囊功能有关,与椭圆囊功能无关,与本研究结论一致。综上所述,步态

模式可能主要受耳石器功能的影响。

头位直立时,椭圆囊斑几乎与水平面一致,纤毛与水平面垂直,内淋巴液沿着前后与左右方向的流动属于有效移动,能够引发毛细胞的兴奋。球囊斑与水平面呈垂直位,而毛细胞的纤毛则与水平面水平,因此球囊内淋巴液的上下和前后方向的流动都是有效移动,能够导致纤毛的偏斜产生去极化。人体向前平移行走,涉及到前后和左右方向的运动,身体重心也会随着每一步上下移动^[18]。这些刺激都会被耳石器感知到并提供前庭信息输入。耳石器作为VSR的重力传感器有助于维持姿势稳定^[19]。耳石器损伤在VSR生物反馈中起着关键作用^[20],Allum等^[6]和Basta等^[21]的研究表明耳石器病变引起耳石器输入信息减少,会导致躯干晃动幅度的相应增加。事实上,对恒河猴的研究显示耳石器的不规则纤毛被理想地调谐以检测头部自然运动的频率^[22]。而且,耳石器输入信息和下肢肌肉活动之间的功能联系是可以检测到的^[23]。因此,耳石器的信息输入可以促进头部和下肢的稳定,以便在行走过程中进行平衡控制。

本研究没有发现半规管功能和步态参数之间有任何显著的关系。目前的结果并不意味着半规管输入对行走平衡没有影响。在自然状态下,人体运动轨迹通常不是单一的平移或纯旋转,而是更复杂的同时包含两种成分的曲线运动。可能是来自耳石器的直线运动信息和来自半规管的旋转运动信息汇聚到中枢神经系统,通过线性权重叠加的方式整合分别来自耳石器和半规管的信息,从而负责产生曲线感知。本研究中头部位置无明显改变,实验证据表明,当旋转角速度非常缓慢,不超过动物个体感知的阈值时,头朝向细胞不能维持它原有的调谐性质^[24]。这些发现非常符合半规管的物理特性,这可以解释为什么半规管功能和步态参数之间没有显著的关系。半规管在行走过程中提供的角加速度输入,有助于维持视觉稳定性^[18,25]。然而VOR与VSR有不同的中枢代偿机制^[26],姿势稳定性的恢复通常比凝视稳定性的恢复慢^[27-28]。这可能也是vHIT结果与步态参数不相关的原因。另外,之前的研究显示,水平半规管VOR增益的变化与使用量表测量的半定量步态参数相关^[8]。而通过vHIT和转椅试验测量的水平半规管VOR增益与行走过程中的躯干摆动测量值没有显著相关性^[9]。上述研究结论的不一致表明水平半规管功能在调节步行平衡中的作用,可能与落脚的位置有关^[29]。半规管是如何贡献于步态平衡的,尚有待进一步探索。

ISSNHL患者的耳石器功能受损可能表现为步速减缓、步长变短、步宽变宽。针对性地指导患者从步速、步长和步宽上调整步态,有助于外周前

庭功能异常患者的步态康复。

本研究是基于外周前庭功能异常患者病变部位对行走平衡的分析,主要是从前庭康复角度,不涉及疾病机制。目前普遍认为低频听力损失是由顶端耳蜗回路受损引起的^[30]。而且底端耳蜗回路比顶端耳蜗回路更接近外周前庭终器。因此高频听力损失的患者更易伴有眩晕。但是,有些研究却结论相反,提出低频听力损失与内淋巴积水相关,而内淋巴积水是早期梅尼埃病的一个病理特征,因此低频听力损失患者可能更易发作眩晕^[31-32]。结合这两种截然不同的相反假设,本研究未根据听力损失频率的不同类型来对患者进行分型讨论。

本研究中未包括的其他因素,如听力损失导致的认知负荷增加、执行功能较差、社交和身体功能下降等,也可能影响到步态参数。

参考文献

- [1] Bent LR, Inglis JT, McFadyen BJ. When is vestibular information important during walking? [J]. *J Neurophysiol*, 2004, 92(3): 1269-1275.
- [2] Liu J, Zhou RH, Liu B, et al. Assessment of balance and vestibular functions in patients with idiopathic sudden sensorineural hearing loss [J]. *J Huazhong Univ Sci Technol Med Sci*, 2017, 37(2): 264-270.
- [3] Fujimoto C, Murofushi T, Chihara Y, et al. Effects of unilateral dysfunction of the inferior vestibular nerve system on postural stability [J]. *Clin Neurophysiol*, 2010, 121(8): 1279-1284.
- [4] Kim SC, Kim JY, Lee HN, et al. A quantitative analysis of gait patterns in vestibular neuritis patients using gyroscope sensor and a continuous walking protocol [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2014, 11: 58.
- [5] Angunsri N, Ishikawa K, Yin M, et al. Gait instability caused by vestibular disorders—analysis by tactile sensor [J]. *Auris Nasus Larynx*, 2011, 38(4): 462-468.
- [6] Allum JH, Adkin AL. Improvements in trunk sway observed for stance and gait tasks during recovery from an acute unilateral peripheral vestibular deficit [J]. *Audiol Neurootol*, 2003, 8(5): 286-302.
- [7] Agrawal Y, Davalos-Bichara M, Zuniga MG, et al. Head impulse test abnormalities and influence on gait speed and falls in older individuals [J]. *Otol Neurotol*, 2013, 34(9): 1729-1735.
- [8] Chang TP, Schubert MC. Association of the Video Head Impulse Test With Improvement of Dynamic Balance and Fall Risk in Patients With Dizziness [J]. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 2018, 144(8): 696-703.
- [9] Allum JH, Honegger F. Relation between head impulse tests, rotating chair tests, and stance and gait posturography after an acute unilateral peripheral vestibular deficit [J]. *Otol Neurotol*, 2013, 34(6): 980-989.

- [10] Stachler RJ, Chandrasekhar SS, Archer SM, et al. American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery. Clinical practice guideline: sudden hearing loss[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2012, 146(3 Suppl):S1-35.
- [11] 张青, 胡娟, 许信达, 等. 突发性聋患者前庭耳石器传导通路功能的客观评价[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2013, 48(5):389-393.
- [12] Hong SM, Byun JY, Park CH, et al. Saccular damage in patients with idiopathic sudden sensorineural hearing loss without vertigo[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2008, 139(4):541-545.
- [13] 牛晓蓉, 张青, 韩鹏, 等. 不伴眩晕的突发性感音神经性耳聋患者隐匿的前庭机能障碍研究[J]. *四川大学学报(医学版)*, 2015, 46(3):426-430.
- [14] 刘东冬, 张旻琳, 刘波, 等. 基于机器学习的前庭康复决策研究[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2020, 34(7):21-27.
- [15] Mamoto Y, Yamamoto K, Imai T, et al. Three-dimensional analysis of human locomotion in normal subjects and patients with vestibular deficiency[J]. *Acta Otolaryngol*, 2002, 122(5):495-500.
- [16] Yamamoto K, Mamoto Y, Imai T, et al. Effects of caloric vestibular stimulation on head and trunk movements during walking[J]. *Gait Posture*, 2002, 15(3):274-281.
- [17] Layman AJ, Li C, Simonsick E, et al. Association between saccular function and gait speed; data from the Baltimore Longitudinal Study of Aging[J]. *Otol Neurotol*, 2015, 36(2):260-266.
- [18] Grossman GE, Leigh RJ, Abel LA, et al. Frequency and velocity of rotational head perturbations during locomotion[J]. *Exp Brain Res*, 1988, 70(3):470-476.
- [19] Goldberg JM, Cullen KE. Vestibular control of the head: possible functions of the vestibulocollic reflex[J]. *Exp Brain Res*, 2011, 210(3/4):331-345.
- [20] Mergner T, Becker W. A modeling approach to the human spatial orientation system[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2003, 1004:303-315.
- [21] Basta D, Todt I, Scherer H, et al. Postural control in otolith disorders[J]. *Hum Mov Sci*, 2005, 24(2):268-279.
- [22] Schneider AD, Jamali M, Carriot J, et al. The increased sensitivity of irregular peripheral canal and otolith vestibular afferents optimizes their encoding of natural stimuli[J]. *J Neurosci*, 2015, 35(14):5522-5536.
- [23] Zangemeister WH, Bulgheroni MV, Pedotti A. Normal gait is differentially influenced by the otoliths[J]. *J Biomed Eng*, 1991, 13(6):451-458.
- [24] Valerio S, Taube JS. Head Direction Cell Activity Is Absent in Mice without the Horizontal Semicircular Canals[J]. *J Neurosci*, 2016, 36(3):741-754.
- [25] Fitzpatrick RC, Butler JE, Day BL. Resolving head rotation for human bipedalism[J]. *Curr Biol*, 2006, 16(15):1509-1514.
- [26] Black FO, Shupert CL, Peterka RJ, et al. Effects of unilateral loss of vestibular function on the vestibulo-ocular reflex and postural control[J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1989, 98(11):884-889.
- [27] Han BI, Song HS, Kim JS. Vestibular rehabilitation therapy: review of indications, mechanisms, and key exercises[J]. *J Clin Neurol*, 2011, 7(4):184-196.
- [28] Halmagyi GM, Weber KP, Curthoys IS. Vestibular function after acute vestibular neuritis[J]. *Restor Neurol Neurosci*, 2010, 28(1):37-46.
- [29] O'Connor SM, Kuo AD. Direction-dependent control of balance during walking and standing[J]. *J Neurophysiol*, 2009, 102(3):1411-1419.
- [30] Mark AS, Fitzgerald D. Segmental enhancement of the cochlea on contrast-enhanced MR: correlation with the frequency of hearing loss and possible sign of perilymphatic fistula and autoimmune labyrinthitis[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 1993, 14(4):991-996.
- [31] Horner KC. Old theme and new reflections: hearing impairment associated with endolymphatic hydrops[J]. *Hear Res*, 1991, 52(1):147-156.
- [32] Tonndorf J. Endolymphatic hydrops: mechanical causes of hearing loss[J]. *Arch Otorhinolaryngol*, 1976, 212(4):293-299.

(收稿日期:2020-12-04;修回日期:2021-04-17)