

水平半规管扫视波的临床意义探究

马孝宝¹, 沈佳丽¹, 杨军¹, 陈建勇¹, 朱颂欢²

1. 上海交通大学医学院附属新华医院 耳鼻咽喉头颈外科/上海交通大学医学院耳科学研究所/上海市耳鼻疾病转化医学重点实验室, 上海 200092

2. 上海交通大学医学院附属第一人民医院/上海市第一人民医院 护理部, 上海 200080

摘要: **目的** 通过比较视频头脉冲试验 (video head impulse test, vHIT) 与冷热试验 (caloric test, CT) 的结果, 研究 vHIT 中水平半规管出现单纯扫视波 (refixation saccades, RS) 但不伴增益降低的临床价值, 为临床精细化诊断评估提供参考。 **方法** 随机选取眩晕患者的 3 组数据: vHIT 正常组为不伴扫视波且不伴增益降低 (83 例); vHIT 单纯扫视组为伴扫视波、不伴增益降低 (81 例); vHIT 异常组为伴扫视波, 伴增益降低 (54 例), 分别比较 3 组冷热试验异常率。另外在数据库中随机选取 2 组数据: 冷热试验正常组为冷热试验正常 (91 例); 冷热试验异常组为冷热试验异常 (125 例), 分别比较 vHIT 单纯扫视发生率。 **结果** vHIT 正常组、vHIT 单纯扫视组、vHIT 异常组的冷热试验异常率分别为 28.92%、50.62% 和 94.44%, 3 组两两比较差异均有统计学意义 ($P=0.015, P<0.001, P<0.001$)。冷热试验正常组和冷热试验异常组的 vHIT 单纯扫视发生率分别为 34.07% 和 32.80%, 差异无统计学意义 ($P=0.845$)。 **结论** 临床上水平半规管 vHIT 测试出现扫视波, 但不伴增益降低的结果, 需补充冷热试验或其它前庭功能检查, 以全面、精细化对患者的前庭功能进行综合评估。

关键词: 视频头脉冲试验; 扫视波; 冷热试验; 精细化诊断

中图分类号: R739.62

文献标志码: A

文章编号: 1673-3770(2025)06-0040-06

引用格式: 马孝宝, 沈佳丽, 杨军, 等. 水平半规管扫视波的临床意义探究[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2025, 39(6): 40-45.
MA Xiaobao, SHEN Jiali, YANG Jun, et al. Exploring the clinical implications of normal VOR gain with refixation saccades in lateral canal[J]. Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University, 2025, 39(6): 40-45.

Exploring the clinical implications of normal VOR gain with refixation saccades in lateral canal

MA Xiaobao¹, SHEN Jiali¹, YANG Jun¹, CHEN Jianyong¹, ZHU Songhuan²

1. Department of Otorhinolaryngology & Head and Neck Surgery, Xinhua Hospital, Shanghai Jiaotong University School of Medicine / Shanghai Jiaotong University School of Medicine Ear Institute; Shanghai Key Laboratory of Translational Medicine on Ear and Nose Diseases, Shanghai 200092, China

2. Nursing Department, Shanghai General Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200080, China

Abstract: Objective By comparing the results of video Head Impulse Test (vHIT) and caloric test (CT), to study the clinical significance of refixation saccade (RS) waves in the horizontal semicircular canals and provide reference for clinical diagnosis.

Methods Three groups of data were randomly selected from the database: normal vHIT, without RS without VOR gain reduction (83 cases); RS vHIT, with RS without VOR gain reduction (81 cases); abnormal vHIT, with RS with VOR gain reduction (54 cases). The abnormality rates of the three groups of the CT were compared respectively. In addition, two groups of data were randomly selected from the database, group A was normal CT (91 cases), group B was abnormal CT, a total of 125 cases; and the incidence of RS without VOR gain reduction in vHIT was compared respectively. **Results** The CT abnormality rates of normal vHIT, RS vHIT and abnormal vHIT were 28.92%, 50.62% and 94.44%, respectively, and the differences between the two comparisons of the three groups were statistically significant ($P=0.015, P<0.001$ and $P<0.001$). The incidence rates of vHIT RS without VOR gain reduction in group A and group B were 34.07% and 32.80% respectively, and the difference was not statistically significant ($P=0.845$). **Conclusion** The appearance of RS during the horizontal semicircular canals vHIT test, without VOR gain reduction, can serve as an important indication for supplementing the CT or other vestibular function assessments. This approach allows for a comprehensive and detailed evaluation of the patient's vestibular function.

Key words: Video head pulse test; Refixation saccades; Caloric Test; Refined diagnosis

收稿日期: 2024-09-11

基金课题: 国家重点研发计划 (2024YFC2511100); 国家自然科学基金重点项目 (82230035); 国家自然科学基金面上项目 (82271179)

通信作者: 朱颂欢. E-mail: 328091643@qq.com

前庭系统位于内耳中,在头部运动时维持视觉稳定方面起着关键作用。三对半规管是该系统的重要组成部分。目前临床上,水平半规管功能的评估是通过冷热试验来进行的^[1]。冷热试验(caloric test, CT)是一项超低频前庭检技术,目前认为是检测单侧水平半规管功能低下的金标准^[2]。头脉冲试验(head impulse test, HIT)又称甩头试验,是一项高频前庭功能检测技术^[3]。视频头脉冲试验(video head impulse test, vHIT)是在头脉冲试验的基础上,安装高清摄像镜头,可以记录受试者眼球运动,根据眼动和头动的匹配程度来客观量化评估前庭-眼反射(vestibular-ocular reflex, VOR)系统的功能状态。与冷热试验相比,vHIT 具有多项优势:①vHIT 是一种快速的评估方法,通常不会引起受试者的恶心或头晕;②vHIT 能够在不需要暗环境的情况下检测到单个或多个半规管的病变;③尤其在诊断前庭神经炎(vestibular neuritis, VN)导致的单侧半规管轻瘫时,该方法具有较高的敏感性和特异性,高达 90%^[4]。

目前通常认为代偿性扫视波(refixation saccades, RS)个数超过 50%并且 VOR 增益值低于 0.8 是临床上诊断水平半规管功能存在异常的标准^[5-8],也有学者^[9-11]将 vHIT 中单纯出现 RS,但增益正常的结果认为是异常。单纯出现 RS 是否有临床意义目前存在争议。本文通过比较 vHIT 与冷热试验的结果,研究 vHIT 试验中水平半规管出现不伴增益值降低的单纯 RS 的临床价值,为临床前庭功能的精细化诊断评估提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性分析 2022 年 6 月—2023 年 4 月在上海交通大学医学院附属新华医院听力障碍及眩晕诊治中心单纯以头晕或眩晕为主诉就诊的患者共计 218 例,其中男 125 例、女 93 例;18~82(57.34±12.72)岁。根据 vHIT 检测结果,将其分为 3 个组:vHIT 正常组为不伴 RS 且不伴增益降低(83 例);vHIT 单纯扫视组为伴 RS,不伴增益降低(81 例);vHIT 异常组为伴 RS,伴增益降低(54 例)。本研究遵循《赫尔辛基宣言》原则,所有参与检测人员均签署知情同意书。

根据冷热试验结果,另重新在数据库中随机选取 2 组患者进行分析:冷热试验正常组为冷热试验

正常组(91 例);冷热试验异常组为冷热试验异常组(125 例)。

纳入标准:①头晕、眩晕、平衡不稳等为主诉的前庭功能相关疾病的患者;②视力正常患者;③能理解并配合进行测试的患者。

排除标准:①中枢性眩晕;②双目失明及视靶受限者;③服用中枢兴奋性或抑制性药物、酒精性饮料及其它可能影响前庭系统功能的药物患者;④存在癫痫、颅内压升高、外耳道炎、外耳道畸形、中耳炎急性期等患者;⑤眩晕急性发作期、严重精神心理疾病、严重心脑血管疾病、严重中枢神经系统疾病患者;⑥颈部活动严重受限患者;⑦眼动检查及头颅 MRI 排除中枢性相关疾病的患者。

1.2 研究方法

1.2.1 vHIT 水平半规管功能测试

测试仪器 EyeSeeCam 视频头脉冲试验仪(Interacoustics, 丹麦)。要求受试者牢固佩戴视频眼罩记录仪,保持头部直立端坐位,呈放松状态,紧盯正前方 1 m 处眼位水平的靶点。检查者在水平半规管平面内对其施加一个突然、被动、微小、且快速的脉冲刺激(幅度约为 10°~20°,头动峰值速度约 >150°/s),要求每个方向脉冲刺激重复 10~20 次以上。由软件计算得出水平半规管增益的平均值及检测者判断有无隐性或显性 RS。以水平半规管增益值 >0.8,无代偿性扫视波或半数以下的测试中出现峰值速度超过头动峰值速度的 50%以上的 RS 纳入 vHIT 正常组;以水平半规管增益值 >0.8,半数以上的测试中出现峰值速度超过头动峰值速度的 50%以上的 RS 纳入 vHIT 单纯扫视组;以水平半规管增益值 <0.8,半数以上的测试中出现峰值速度超过头动峰值速度的 50%以上的 RS 纳入 vHIT 异常组。见图 1。

1.2.2 冷热试验

测试仪器为 VO425 眼震视图仪(Interacoustics, 丹麦)。检查于遮光暗室内进行,受试者取仰卧位,头前倾 30°,使水平半规管处于垂直位,头戴眼震视图仪。检查过程中嘱受试者目视前方,勿闭眼及尽量少眨眼至检查结束,按照“先热后冷,先右后左”的次序,依次在双耳注入冷热气(24℃、50℃),流量为 8 L,每次持续 60 s。灌注过程中喷气嘴正对鼓膜同时尽可能贴近,每次需待受试者无眼震及眩晕后再行下一次检测。通过眼震视图仪记录眼震并分

析,计算半规管轻瘫 (canal paresis, CP) 值,以一侧 CP>25% 为异常。以 CP<25% 纳入组 A, CP>25% 纳

入组 B。

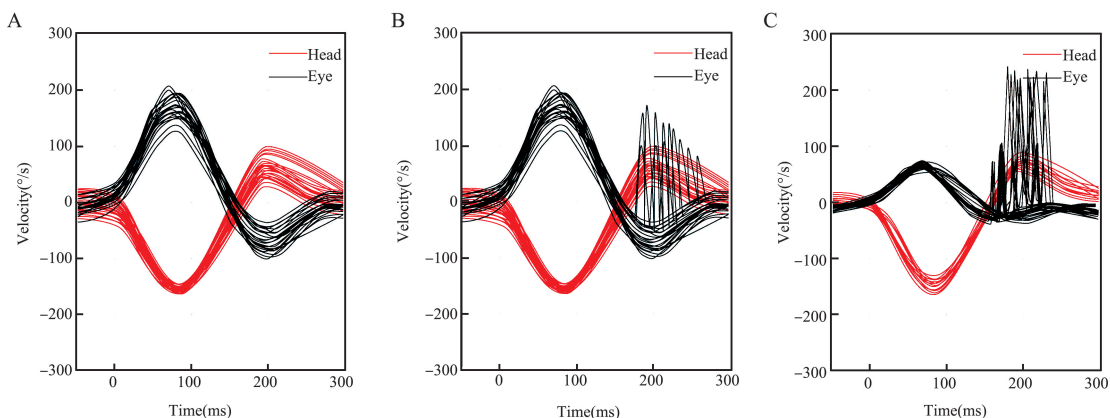


图 1 基于水平半规管 vHIT 测试结果的分组示意图

A: 不伴 RS 且不伴增益降低组; B: 伴 RS 但不伴增益降低组; C: 伴 RS 及增益降低组

Figure 1 Schematic representation of groupings based on the results of the lateral canal vHIT test

A: Represents the group without RS and without gain reduction; B: Represents the group with RS but without gain reduction; C: Represents the group with RS and gain reduction

1.3 统计学处理

应用 SPSS 26.0 软件。正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,多组独立数据率的比较采用 χ^2 检验,两两比较经过 Bonferroni 矫正。检验水准选取 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 一般资料

vHIT 正常组、vHIT 单纯扫视组和 vHIT 异常组在性别 ($P = 0.395$) 和年龄分布 ($P = 0.155$) 方面,差异无统计学意义,冷热试验正常组和冷热试验异常组在性别 ($P = 0.273$) 和年龄分布 ($P = 0.107$) 方面差异无统计学意义。见表 1。

2.2 vHIT 正常组、vHIT 单纯扫视组及 vHIT 异常组中冷热试验异常的分布情况

vHIT 正常组有 59 例 (71.08%) 冷热试验结果显示正常,24 例 (28.92%) 显示单侧半规管功能障碍。vHIT 单纯扫视组有 31 例 (38.27%) 冷热试验结果显示正常,41 例 (50.62%) 显示同侧半规管功能障碍,9 例 (11.11%) 显示对侧半规管功能障碍。vHIT 异常组有 1 例 (1.86%) 冷热试验结果显示正常,49 例 (90.74%) 显示同侧半规管功能障碍,2 例 (3.70%) 显示对侧半规管功能障碍,2 例 (3.70%) 显示双侧半规管功能障碍。3 组患者冷热试验结果异常率分别为 28.92%、50.62% 和 94.44%,差异均有统计学意义 ($P = 0.015, P < 0.001, P < 0.001$)。

2.3 冷热试验正常组和冷热试验异常组中 vHIT 异常率情况

冷热试验正常组有 31 例 (34.07%) vHIT 结果

显示出现 RS,但增益值正常,59 例 (64.84%) 显示 vHIT 正常,1 例 (1.09%) 显示 vHIT 异常。冷热试验异常组有 41 例 (32.80%) vHIT 结果显示伴 RS,不伴增益降低,35 例 (28.00%) 显示 vHIT 正常,49 例 (39.20%) 显示 vHIT 异常。二组 vHIT 单纯 RS 发生率分别为 34.07% 和 32.80%,差异无统计学意义 ($P = 0.845$),vHIT 结果异常率。

3 讨论

人体的视觉和本体觉在高频刺激中不能发挥作用,主要是通过 VOR 路径保持视觉的正常^[12]。VOR 系统在快速的头部运动过程中,做出平滑的反向眼动轨迹,从而视线保持在对应的目标上。VOR 通路异常患者在快速头动时,无法将视线固定在视靶上,并在头动结束前/后做矫正性追赶,于是出现了 RS。在头动结束后出现的 RS 称为显性扫视波 (overt saccades, OS),在头动结束前出现的 RS 称为隐形扫视波 (covert saccades, CS)^[10]。单独的 RS 不能直接诊断半规管功能障碍,因为 RS 是为了纠正半规管功能障碍导致的眼动速度不足^[13]。衡量 VOR 的标准是增益,即眼球速度曲线下的面积与头部速度曲线下的面积之比,正常的 VOR 增益接近 1^[14]。Bradshaw 等^[15]在 34 耳的研究中发现,半规管的夹角在左右和不同个体间存在差异,使得 VOR 增益存在差异,所以不是所有正常半规管 VOR 增益都是 1。单侧前庭功能异常的患者在头部转向患耳时 VOR 增益会降低,普遍认为 VOR 增益低于 0.8 为异常^[8]。因此目前 vHIT 评判半规管

功能障碍的标准是:水平半规管增益值 <0.8 ,半数以上的测试中出现 RS,且补偿性扫视波峰值速度超过头动峰值速度的 50%以上^[16]。

正常人也会表现出单纯的 RS 而不伴增益值的降低。正常人的视线不会完全对准视靶,因此在头动结束时会出现小幅 RS 以用于纠正视线^[13]。成颖等^[17]研究发现,正常人的 RS 个数为 0~4 个,Paige 等^[18]认为 RS 在半数以下也为正常。正常人随着年龄的增加,VOR 增益正常,但峰值速度超过头动峰值速度的 50%以上的 RS 的个数会增加。Perez-Fernandez 等^[19]发现较年轻的主诉为眩晕的人群中,5.79% (36/623) 存在 RS,Matino-Soler 等^[20]发现 24.53% (52/212) 的正常人群存在 RS,12.5%~17.14% 的 5~40 岁的正常人会有 RS,11.11%~29.17% 的 40~70 岁的正常人会出现超 50%个数的 RS,55%~100% 的 71 岁以上的正常老年人会出现超 50%个数的 RS。这一现象可以归因于随衰老而产生的毛细胞和前庭神经纤维的退化,这种情况可称为“老年性前庭病变 (presbyvestibulopathy)”本文数据显示冷热试验正常组有 34.07% 出现超 50%个数的 RS,与上述学者研究相符。

研究显示在单侧外周前庭疾病的间歇期也会出现单纯的 RS 而不伴增益值降低的情况。梅尼埃病 (ménière's disease, MD) 患者间歇期会表现出 VOR 增益正常,甚至升高,但出现 RS 的情况^[19]。对于 MD 的 4 个不同时期,VOR 增益值可表现出正常,也可出现降低,而 RS 发生率整体呈上升趋势^[9,21]。另外 Perez-Fernandez 等^[19]研究发现在 MD 恢复期,患侧 VOR 增益值虽逐渐恢复,但 RS 只是速度略微降低。RS 的存在是为了维持患者清晰的视野^[21],因此表现为 VOR 正常,伴 RS。虽然 MD 患侧 VOR 增益值在正常范围,但依旧显著低于健侧,说明患侧功能仍有障碍^[19]。Du 等^[22]发现,前庭性偏头痛 (vestibular migraine, VM) 患者也可表现出存在 RS 但 VOR 增益正常的情况。此外 MacDougall 等^[23]发现前庭神经炎 (vestibular neuritis, VN) 在急性期表现出 VOR 增益降低伴随 RS,在 3 个月后 VOR 增益已经恢复正常,RS 依然存在。在头部高速旋转过程中,RS 在动态视敏度中发挥着非常重要的作用。在单侧前庭功能障碍的患者中,RS 会将动态 VOR 缺失的影响降至最低,也被视为外周前庭功能代偿机制的一部分^[24]。Waissbluth 等^[25]也有类似的发现,存在 RS 但 VOR 增益正常最常出现在 VM,其次是 VN 恢复期,MD 也有此类现象。而 Kabaya 等^[26]发现 MD 最常出现,其次是 VN。上述研究均

体现了 RS 在评估此类患者前庭功能障碍方面的精细化价值。

单纯出现 RS 可能存在轻度半规管功能障碍的风险^[26]。Kabaya 等^[26]研究了 51 例 RS 不伴增益降低的患者,比较同对侧的 vHIT 的 VOR 增益、冷热试验的最大慢相速度和前庭诱发肌源性电位 (vestibular evoked myogenic potentials, VEMP),发现存在扫视波一侧的 VOR 增益和冷热试验的最大慢相速度均低于对侧。vHIT 和眼性前庭诱发肌源性电位 (ocular vestibular evoked myogenic potentials, oVEMP) 的结果没有关联,因此推测单纯 RS 患者病变不在前庭上神经,而在于半规管。同时也发现不同病种表现出的 RS 类型也不一样,MD 和 VN 常常出现“OS+CS”,突发性耳聋和良性位置性眩晕常常出现“OS”。而 CS 的个数比例在急性前庭病的“恢复期”会增加,CS 的占比越高,VN 的预后更好,跌倒风险更低^[27]。MacDougall 等^[23]认为“恢复期”实际在进行中枢代偿,前庭感觉输入缺失,通过颈部到前庭神经核的颈眼反射 (cervico-ocular reflex, COR) 通路替代,来自颈部的感觉输入有可能是产生 CS 的触发刺激。人工耳蜗植入术后也会出现暂时性 RS,可能是由于手术导致的暂时性损伤,反应了 VOR 通路的部分受损^[28]。

本文结果以冷热试验为前庭功能是否正常作为参考指标,3 组 vHIT 数据的冷热试验异常率分别为 28.92%、50.62% 和 94.44%,异常率逐渐升高。3 组之间差异均有统计学意义,说明患者若出现单纯 RS,其冷热试验异常率有别于 vHIT 正常和异常者,提示应常规完善冷热试验检查,同时需要结合患者的疾病史,以更为全面了解患者的前庭功能状况。受年龄因素的影响,年轻患者相比于老年人,出现生理性单纯 RS 的概率更低^[20],此时更应该全面评估其前庭功能。冷热试验正常组和冷热试验异常组的单纯 RS 发生率分别为 34.07% 和 32.80%,差异无统计学意义,说明正常人与前庭功能障碍的患者,均有可能出现单纯 RS。本文冷热试验正常组和冷热试验异常组的受试者中年龄超过 50 岁占比 57.14% 和 54.40%,年龄超过 70 岁占比 25.27% 和 12.80%,因此作者认为本文较高的单纯 RS 发生率与年龄关系密不可分。

本文局限性在于:①这是一项回顾性研究,可能存在选择性偏倚;②样本量较小,未进行病种分类,同种疾病在急性期、间歇期和病程的不同分期也会有不同的表现;③本文仅分析了外周性眩晕的病例,未分析中枢性眩晕的扫视情况;④冷热试验作为前

庭功能检测的金标准,与 vHIT 是两种不同频率的前庭功能检测方法,针对不同疾病有不同的敏感性和特异性。后期我们将扩充样本量,细分不同病种及病程,结合其他频率的前庭检测技术进一步研究。

临床上水平半规管 vHIT 测试出现扫视波,但不伴增益降低的结果,可以作为补充冷热试验或其它前庭功能检查的重要提示,同时结合患者年龄及病史等因素,以全面、精细化对患者的前庭功能进行综合评估。

参考文献:

- [1] Alhabib SF, Saliba I. Video head impulse test: a review of the literature [J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2017, 274(3): 1215-1222. doi: 10.1007/s00405-016-4157-4
- [2] Baloh RW, Honrubia V. Clinical neurophysiology of the vestibular system[J]. *Contemp Neurol Ser*, 1979, 18: 1-21
- [3] Halmagyi GM, Curthoys IS. A clinical sign of canal paresis [J]. *Arch Neurol*, 1988, 45(7): 737-739. doi: 10.1001/archneur.1988.00520310043015
- [4] Bartolomeo M, Biboulet R, Pierre G, et al. Value of the video head impulse test in assessing vestibular deficits following vestibular neuritis [J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2014, 271(4): 681-688. doi: 10.1007/s00405-013-2451-y
- [5] Mahringer A, Rambold HA. Caloric test and video-head-impulse: a study of Vertigo/dizziness patients in a community hospital [J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2014, 271(3): 463-472. doi: 10.1007/s00405-013-2376-5
- [6] McCaslin DL, Jacobson GP, Bennett ML, et al. Predictive properties of the video head impulse test: measures of caloric symmetry and self-report dizziness handicap [J]. *Ear Hear*, 2014, 35(5): 185-191. doi: 10.1097/AUD.0000000000000047
- [7] 张剑伟, 徐金, 倪泽, 等. 73 例前庭外周性眩晕患者半规管频率损伤特点的研究 [J]. *中华耳科学杂志*, 2019, 17(6): 857-862. doi: 10.3969/j.issn.1672-2922.2019.06.011
ZHANG Jianwei, XU Jin, NI Ze, et al. Frequency features of semicircular canal lesions in 73 patients [J]. *Chinese Journal of Otolaryngology*, 2019, 17(6): 857-862. doi: 10.3969/j.issn.1672-2922.2019.06.011
- [8] 何风, 韩军良, 白雅, 等. 前庭功能检查在前庭神经炎急性期患者受损部位分析中的应用 [J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2023, 37(4): 263-267. doi: 10.13201/j.issn.2096-7993.2023.04.005
HE Feng, HAN Junliang, BAI Ya, et al. Application of vestibular function examination in the analysis of damaged site in patients with acute vestibular neuritis [J]. *Journal of Clinical Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery*, 2023, 37(4): 263-267. doi: 10.13201/j.issn.2096-7993.2023.04.005
- [9] 石小玲, 龚嘉敏, 樊婷, 等. 67 例单侧梅尼埃病患者视频头脉冲测试结果分析 [J]. *中华耳科学杂志*, 2024, 22(6): 885-889. doi: 10.3969/j.issn.1672-2922.2024.06.002
SHI Xiaoling, GONG Jiamin, FAN Ting, et al. Video head impulse test in patients with unilateral meniere's disease: a series of 67 cases [J]. *Chinese Journal of Otolaryngology*, 2024, 22(6): 885-889. doi: 10.3969/j.issn.1672-2922.2024.06.002
- [10] 郭君君, 李斌, 纪茹英. 前庭神经炎视频头脉冲试验及双温试验结果分析 [J]. *中华耳科学杂志*, 2024, 22(4): 553-556. doi: 10.3969/j.issn.1672-2922.2024.04.005
GUO Junjun, LI Bin, JI Ruying. Video head impulse test and caloric test results in patients with vestibular neuritis [J]. *Chinese Journal of Otolaryngology*, 2024, 22(4): 553-556. doi: 10.3969/j.issn.1672-2922.2024.04.005
- [11] 刘宇鹏, 梁敏, 何景春, 等. 梅尼埃病前庭功能分级的探讨 [J]. *山东大学耳鼻喉眼学报*, 2020, 34(5): 14-19. doi: 10.6040/j.issn.1673-3770.1.2020.062
LIU Yupeng, LIANG Min, HE Jingchun, et al. A new grade of vestibular function abnormality in Meniere's disease: a pilot study [J]. *Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University*, 2020, 34(5): 14-19. doi: 10.6040/j.issn.1673-3770.1.2020.062
- [12] Bansal S, Sinha SK. Assessment of VOR gain function and its test-retest reliability in normal hearing individuals [J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2016, 273(10): 3167-3173. doi: 10.1007/s00405-016-3951-3
- [13] Curthoys IS, McGarvie LA, MacDougall HG, et al. A review of the geometrical basis and the principles underlying the use and interpretation of the video head impulse test (vHIT) in clinical vestibular testing [J]. *Front Neurol*, 2023, 14: 1147253. doi: 10.3389/fneur.2023.1147253
- [14] Halmagyi GM, Chen LK, MacDougall HG, et al. The video head impulse test [J]. *Front Neurol*, 2017, 8: 258. doi: 10.3389/fneur.2017.00258
- [15] Bradshaw AP, Curthoys IS, Todd MJ, et al. A mathematical model of human semicircular canal geometry: a new basis for interpreting vestibular physiology [J]. *J Assoc Res Otolaryngol*, 2010, 11(2): 145-159. doi: 10.1007/s10162-009-0195-6
- [16] Hougaard DD, Abrahamsen ER. Functional testing of all six semicircular canals with video head impulse test systems [J]. *J Vis Exp*, 2019(146): (146). doi: 10.3791/59012
- [17] 成颖, 陈籽辰, 李桔林, 等. 正常人视频头脉冲试验结果分析 [J]. *听力学及言语疾病杂志*, 2019, 27(6): 591-595. doi: 10.3969/j.issn.1006-7299.2019.06.003

- CHENG Ying, CHEN Zichen, LI Julin, et al. Video head impulse test in normal people[J]. *Journal of Audiology and Speech Pathology*, 2019, 27(6): 591-595. doi: 10.3969/j.issn.1006-7299.2019.06.003
- [18] Paige GD. Senescence of human visual-vestibular interactions. 1. Vestibulo-ocular reflex and adaptive plasticity with aging[J]. *J Vestib Res*, 1992, 2(2): 133-151
- [19] Perez-Fernandez N, Eza-Nuñez P. Normal gain of VOR with refixation saccades in patients with unilateral vestibulopathy[J]. *J Int Adv Otol*, 2015, 11(2): 133-137. doi: 10.5152/iao.2015.1087
- [20] Matíño-Soler E, Esteller-More E, Martín-Sánchez JC, et al. Normative data on angular vestibulo-ocular responses in the yaw axis measured using the video head impulse test [J]. *Otol Neurotol*, 2015, 36(3): 466-471. doi: 10.1097/MAO.0000000000000661
- [21] Du Y, Liu XJ, Ren LL, et al. Exploratory saccades data analysis of video head impulse test in different Meniere's disease stages[J]. *J Vestib Res*, 2022, 32(2): 183-192. doi: 10.3233/VES-201642
- [22] Du Y, Liu XJ, Ren LL, et al. Analysis of video head impulse test saccades data in patients with vestibular migraine or probable vestibular migraine [J]. *J Otol*, 2022, 17(4): 197-202. doi: 10.1016/j.joto.2022.06.002
- [23] MacDougall HG, Curthoys IS. Plasticity during vestibular compensation: the role of saccades [J]. *Front Neurol*, 2012, 3: 21. doi: 10.3389/fneur.2012.00021
- [24] Riska KM, Bellucci J, Garrison D, et al. Relationship between corrective saccades and measures of physical function in unilateral and bilateral vestibular loss[J]. *Ear Hear*, 2020, 41(6): 1568-1574. doi: 10.1097/AUD.0000000000000885
- [25] Waissbluth S, Sepúlveda V, Leung JS, et al. Caloric and video head impulse test dissociated results in dizzy patients[J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 1000318. doi: 10.3389/fneur.2022.1000318
- [26] Kabaya K, Fukushima A, Katsumi S, et al. Presence of corrective saccades in patients with normal vestibulo-ocular reflex gain in video head impulse test [J]. *Front Neurol*, 2023, 14: 1152052. doi: 10.3389/fneur.2023.1152052
- [27] Cerchiai N, Navari E, Sellari-Franceschini S, et al. Predicting the outcome after acute unilateral vestibulopathy: analysis of vestibulo-ocular reflex gain and catch-up saccades[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2018, 158(3): 527-533. doi: 10.1177/0194599817740327
- [28] Korsager LEH, Faber CE, Schmidt JH, et al. Refixation saccades with normal gain values: a diagnostic problem in the video head impulse test: a case report [J]. *Front Neurol*, 2017, 8: 81. doi: 10.3389/fneur.2017.00081

(编辑:李纬)