

· 眩晕专辑 ·

视频头脉冲测试的原理与应用

杜一 任丽丽 刘兴健 张素珍 杨仕明 吴子明

解放军总医院耳鼻咽喉头颈外科 解放军耳鼻咽喉研究所(北京 100853)

【摘要】视频头脉冲检查(video head impulse test, vHIT)是临床常用的评价眩晕及失衡患者前庭眼反射的重要检查,对于诊断三对半规管功能受损情况有非常重要的作用。本文通过阅读文献,对vHIT的检查机理,病理表现以及操作方法等进行分析和综述,并探讨了vHIT对于临床上梅尼埃病、前庭神经炎、前庭性偏头痛和青少年良性阵发性眩晕等疾病的临床辅助检查作用。

【关键词】前庭功能;视频头脉冲;眩晕

【中图分类号】R764

【文献标识码】A

【文章编号】1672-2922(2017)06-629-5

Mechanisms and Application of Video Head Impulse Test

DU Yi, REN Lili, LIU Xingjian, ZHANG Suzhen, YANG Shiming, WU ziming

Department of Otolaryngology Head & Neck Surger, Chinese PLA General Hospital

Corresponding author: WU ziming Email: zimingwu@163.com

【Abstract】Video head impulse test (vHIT) can be utilized to evaluate semicircular canal function as well as the vestibulo-ocular reflex in patients with vertigo and imbalance. Based on relevant literature, this article provides a review on mechanisms underlying vHIT, pathological vHIT features and testing techniques. The role of vHIT as an auxiliary examination in the evaluation of Meniere's Disease, vestibular neuritis, vestibular migraine etc., is also discussed.

【Key words】Vestibular Function; Video Head Impulse Test(vHIT); Vertigo

Grant sponsor: Health Protection Program of Military; Grant number: 16BJZ18.

Declaration of interest: The authors report no conflicts of interest.

1 前言

1.1 概念

头脉冲检查(head impulse test, HIT 或 clinical head impulse test, cHIT)是临床评价眩晕及失衡患者前庭-眼反射(vestibulo-ocular reflex, VOR)的一项重要检查。最早于1988年由Halmagyi和Curthoys提出^[1],用于床旁检查,当患者凝视身体前方定点时,对其头部施加一个微小、快速、被动、突然的水平方向脉冲刺激,检测头朝向侧半规管的功能状态。HIT的临床应用已有很多报道^[2,3],随着更高分辨率测量技术的发展,视频头脉冲技术(video head impulse test, vHIT)得到广泛应用,vHIT不仅能发现单侧或双侧水平半规管功能受损,也可以评

价垂直半规管的功能状态^[4-6]。

1.2 机理

理想的头脉冲检查,aVOR(angular VOR,日常生活快速头动中保证视觉稳定的唯一一个眼运动系统^[7])产生与头动方向相反,速度相同的眼球运动^[8]。视觉稳定性是人体在空间位置变化时(如头动),依然可以清晰视物。视网膜中央凹是视敏度最高的地方,影像偏离中央凹2°~5°即可降低视敏度,视网膜各部分的视敏度呈现偏心性改变^[9,10]。aVOR正常的患者头运动与头静止的视觉稳定性差别很小或近似没有^[7];而aVOR异常时,快速头动时,不能保持眼睛在空间范围内的稳定性,致图像从视网膜中央凹滑出,表现为动态视敏度降低。

不同频率的前庭功能检查特性可以通过前庭系统的频率响应来解释。从生理学角度观察,编码头部旋转运动的前庭传入神经根据其形态、放电规律、响应增益以及终端形态可分为:①萼形终端:分布于感觉神经上皮中央区域,与I型毛细胞

DOI: 10.3969/j.issn.1672-2922.2017.06.004

基金项目:中老年难治性良性阵发性位置性眩晕防治研究

作者简介:杜一,硕士,研究方向:前庭、眩晕

通讯作者:吴子明,Email: zimingwu@126.com

相连,低增益不规则放电;②钮型终端:位于感觉神经上皮外周区域,与Ⅱ型毛细胞相连,规则放电;③二态型终端:传入神经的萼形终端与Ⅰ型毛细胞相连并经钮型终端与Ⅱ型毛细胞相连,数量最多,覆盖感觉神经上皮所有区域,中央区域的神经呈高增益不规则放电,外周区域的神经呈规则放电(图1)^[11]。前庭传入纤维的放电规律主要为满足下行反射动态负荷的需要:低增益不规则放电神经扩大了前庭传入神经的适用范围,增益值可在高频刺激作用下增加;不规则传入神经有较多超前相位,对高频刺激敏感,作为前庭颈反射的输入补偿部分颈部负载;规则传入神经,相位超前较少,对低频刺激产生的前庭眼反射敏感^[12]。

从机械力学角度来看,壶腹嵴是aVOR的感受器,壶腹嵴位移相对于头的角加速度运动呈现一种带宽滤波特性(图2),即在高、低拐点频率范围内(约0.0044–20Hz^[13, 14]),头动速度与前庭神经放电率的转化是线性的,同样的线性响应也体现在眼动速度方面,这是半规管利用内淋巴液动力变化感知角加速度运动的基础^[15];低拐点频率以下,反应受壶腹嵴的刚度影响而衰减;高拐点频率以上,反应受内淋巴液惯性影响而衰减^[13, 15, 16]。正常情况下,半规管传入神经只是旋转力的感受器,但是当内淋巴液环路中有比重梯度改变时(如双温刺激),半规管也可以反映线性力。

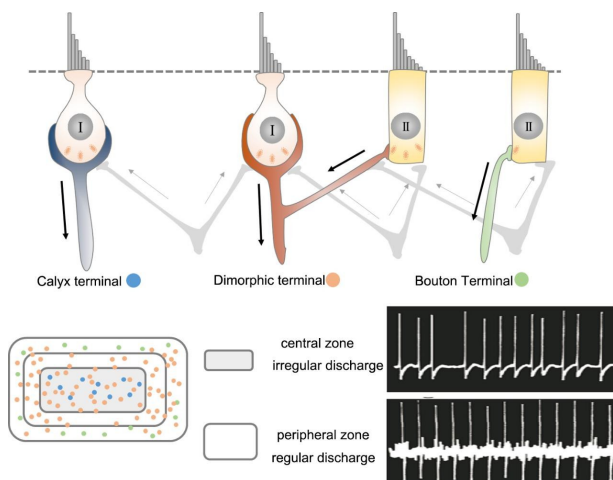


图1 前庭传入神经及其放电规律
(放电规律截图引用自文献^[11])

Fig. 1 Vestibular afferents and discharge regularity
(discharge regularity is cited from reference^[11])

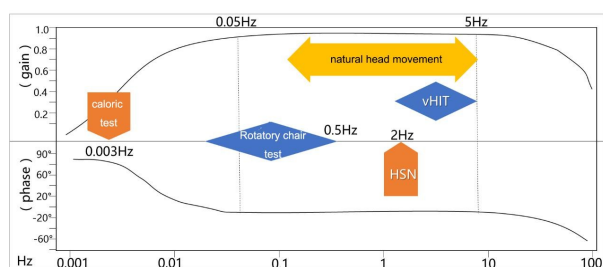


图2 前庭半规管系统频率响应及前庭功能检查检测频率(文献^[17])

Fig. 2 frequency response and distortion of vestibular functional tests (cited form^[17])

1.3 病理表现

被试侧半规管功能受损,aVOR缺陷使眼球运动速度远低于头动速度,眼睛不能随头动紧盯靶点,为固定视线,头动末期在甩头的方向上会产生眼球补偿运动,称为扫视波(refixation saccades, compensatory saccades, catch-up saccades^[9, 18–20])。显性扫视(overt saccade)是眼睛不能盯到靶点时头-眼相对运动距离变长,产生第二阶段的追随扫视;隐性扫视(covert saccade)是动态补偿的一部分,发生在需要预测头-眼运动差以缩短激发扫视时间的时候。显性扫视波在头动末期产生,易被检查者发现,但HIT检查较难发现隐性扫视波^[19, 21, 22],而vHIT检查则可以评价显性和隐性扫视波的幅度和时间参数^[21, 23]。

2 检查方法概述

2.1 搜索线圈与vHIT比较

巩膜搜索线圈(scleral search coils)是HIT检查的经典方法,通过电磁系统记录眼动信息,需要患者佩戴植入线圈的隐形眼镜,虽然记录到的干扰波较少,但是检查时间长,费用昂贵,较难在临床应用^[19]。视频眼震电图是较新的头脉冲检查方法,通常称为vHIT法,商用设备目前主要有EyeSeeCam(Interacoustic)^[24–27]和ICS(GN-otometrics)^[20, 28–35],均由一个头戴式眼球运动记录仪,一个头动速度感受器(陀螺仪)和一个头戴式校准设备组成。关于两种方法,有文献探究了vHIT与搜索线圈技术测量VOR结果上的一致性^[19]与差异性^[5],vHIT结果提供的更多信息会提高疾病诊断的准确性。传统的搜索线圈技术并没有关于头动的质量评估系统,而vHIT则可以获得头动速度的准确监测,可以有选

择地排除掉头动速度不理想的数据结果,保证数据的有效性。vHIT 软件中有利于操作者的学习曲线,能够确保每次头动在一个相近的范围内,也可以研究不同速度刺激对 VOR 的影响^[29]。

2.2 vHIT 检查概述

vHIT 检查有校准和头脉冲两个部分,校准过程需要激光参与,在距离靶点 1m 的位置上,患者坐位向前直视靶点,同时在视线上、下、左、右各 20° 的方向上产生激光参考点,分别让患者凝视这些参考点产生校准线。头脉冲检测时需要患者紧紧凝视前方 1m 处的靶点,同时在水平半规管平面内施加一个被动、快速、小幅度(10°~20°^[19])的脉冲运动,头部的这种加速度运动会在水平面内刺激水平半规管感受器;旋转头至相对于躯干 45° 并保证患者凝视前方定点,于相对躯干前后方向加速度运动头部会刺激旋转侧后半规管与对侧前半规管感受器。vHIT 检查时,有一些事项需要引起重视。①设备准备:检查时,需要确保绑带系紧,防止滑脱或者相对运动发生。同时也需要注意避免手的位置接触到绑带或者电线,造成干扰。②操作准备:脉冲检查时幅度范围不能过大,眼球运动主要受神经调节而非机械运动,人体的眼球运动范围大约为±55°,受试者注视偏离眼球中心大于 45° 时,神经系统会限制扫视幅度在 45° 左右^[36]。检查者手放置的位置也会产生影响^[29, 30],有研究表明手放置于颅顶测量的 VOR 增益要比手放置在颞部测量值更高。③头动速度:检查时需要在患者不可预知的情况下,保证一个相对快速的头动。头动的速度直接影响了最终获得的数据结果有效性,VOR 增益随头动速度增加而递减^[37, 38],过高速度的头动会导致不必要的干扰产生,但如果头动速度过慢,医生也许会漏掉可能的前庭损伤^[30, 37],一般建议头动峰值速度>150°/s^[24-26, 32]。与水平半规管检查相比,垂直半规管的头脉冲检查更加困难,需要限制头位在特定平面内,很难达到水平半规管那样的最大头动速度,且颈部活动受限制的患者结果也可能受到影响^[5]。此外,不同的检查者施加的头动速度往往有很明显的差别,左利手与右利手对水平半规管的检测结果也会有影响^[30, 39]。④其他因素:检查过程中也需要重视患者注意力、配合程度、颈椎活动范围等因素。为了结果的重复性和有效性,有必要建立规范检查者操作的临床标准以及合适的流行病学数据库。VOR 增益是眼动速度与头动速度的比值,通过

计算速度曲线面积之比获得不同时间的 VOR 增益^[19]。典型的脉冲是由每个方向至少 20 条头动轨迹组成的,但是每个设备具体的 VOR 增益算法有所不同。对于 VOR 增益的正常值范围,也有很多探讨,Nicolas 等人建议 VOR 增益正常值应大于 0.6^[29],MacDougall 和 Steven 等人提议 VOR 增益大于 0.7 为正常^[5, 23, 31],Isaac 和 Alexander 等人建议正常值应大于 0.8^[24-26]。

3 vHIT 在前庭相关问题的应用探讨

3.1 高频检查的临床意义

vHIT 检查提供前庭系统的高频信息。头部低速运动的时候,视觉是主要掌控的器官;中速运动时,视觉和前庭觉都参与保持视觉稳定;而在高速运动过程中(5Hz 左右),只有前庭系统参与^[19],此时眼动受前庭兴奋电位和抑制电位差值调控,这种电位差与头动速度成正比,体现在头脉冲检查中是眼动速度与头动速度在反方向上是相等的。当一侧前庭功能受损,头转向受损侧时,因为眼睛不能定位在靶点上,动眼神经系统的神经输入不再与头动成正比,从而体现为 VOR 增益的下降。

头脉冲检查结果不应仅参考 VOR 增益值,而应结合脉冲后扫视波出现的时间和大小等参数。有研究发现,前庭输入导致的前庭性扫视,更多发生在高速头动的时候,低速头动发生率仅为 32%^[18]。扫视可由前庭驱动脑桥旁正中网状结构产生,前庭性扫视只需要 10ms 即可诱发,较视觉诱发扫视(70ms)的潜伏期更短^[36]。单侧前庭功能下降患者不仅患侧有扫视波,健侧也有一些小的扫视波^[22],可能与中枢前庭神经元放电的不对称性有关^[9]。

vHIT 检查过程不会引起患者恶心和眩晕,不需要在暗室中进行检查,可以体现单侧或多侧半规管的功能状态,尤其对于垂直半规管功能的检查,是其他检查所不能比拟的。vHIT 检查中有些机制需要进行探讨:①颈眼反射:前庭性扫视主要来自于前庭半规管感受器的反射,颈眼反射基本可以忽略^[36, 40]。②距离与偏心度:不同的偏转角度和视物距离使耳石器对 VOR 贡献不同,但是半规管刺激输入不变,此时 aVOR 是主要反射,也是唯一与前庭性扫视波有关的反射^[18]。④被动头动与主动头动区别:前庭功能减低患者在可预知的头动规律下会中枢调控预编码机制支配眼动以稳定凝视,这种眼动会减少纠正性扫视波产生,在一定程度上降低

检查的敏感性^[38, 41, 42]。

3.2 vHIT对于相关前庭疾病的临床辅助检查作用

梅尼埃病 Meniere's Disease, MD: 双温结果显示异常的 MD 患者行头脉冲检查时不一定有很显著的异常表现, 单侧 MD 患者, 尽管双温检查显示单侧水平半规管功能受损, 但是头脉冲检查经常会显示 VOR 在正常值以上或接近于正常值。^[34, 43-45]。造成这种差异的一个原因可能是水平半规管膜迷路扩张, 产生局部对流抵抗了壶腹嵴上的静压: 正常人体的膜迷路横截面积很小, 约为骨迷路横截面积的 5%~8%, 膜迷路积水患者会大大增加内淋巴管的横截面积, 这种容积的扩张使得高密度和低密度淋巴液融合, 局部对流产生, 导致壶腹嵴附近压力梯度变化, 浮力减小。但由于整个骨迷路直径并没有变化, vHIT 检查的动态刺激并没有在速度层面有所变化^[44]。还有一种原因是目前 vHIT 的评价标准尚未建立, 上述文献对梅尼埃病患者的 vHIT 评价主要参考 VOR 增益值, 而不同的操作者对 VOR 增益值的影响较大, 可能会造成结果的不确定性。基于临床结果的观察, 大部分前庭功能异常的患者, vHIT 异常的表现主要集中在扫视波上, 如果把出现扫视波作为 vHIT 异常标准之一, 梅尼埃病的检出率还会提高。vHIT 虽不如传统的双温试验对半规管功能具有金标准的判断性, 但提供了高频区重要信息的参考, 丰富了半规管的功能评价。

前庭神经炎 vestibular neuritis, VN: vHIT 可以评价 VN 急性期和康复期患者的前庭功能状态, 提供 VOR 缺陷程度和康复阶段的客观评价^[23, 46]。VN 患者的前庭功能康复存在不同的过程, 虽然双温与 vHIT 对于 VN 患者没有明显的相关性, 但是仍需要同时利用 vHIT 和双温检查进行评估^[32]。VN 患者的扫视波随着病程的发展可由显性扫视波转化成隐性扫视波^[47], 结合患者的主观感受评价 VOR 增益值和扫视波的变化, 有助于我们加强对前庭代偿过程的了解。

前庭性偏头痛 vestibular migraine, VM: 双温和 vHIT 的两种不同结果的异常率在 VM 患者中相关度不高^[26]28% 的 MD 患者有偏头痛的症状, 有 23% 的 VM 患者合并有 MD, 这两种疾病需要不同的治疗方法, 因此需要更精确的诊断。由于 MD 主要影响的是外周前庭系统, 而 VM 常被认为是中枢前庭紊乱导致的。研究者分析发现, 双温试验和 vHIT 在 MD 患者中都要比在 VM 患者中的异常率高^[25]。

青少年良性阵发性眩晕: 相比于转椅和双温检查来说, vHIT 可以避免诱发恐惧的黑暗环境以及双温检查诱发的持续性眩晕, 小儿眩晕容易接受^[31]。

3.3 vHIT 在前庭眩晕疾病的临床中远期应用评价: vHIT 检查主要针对的是前庭外周疾病, 中枢性疾病应用局限性大。与其他前庭检查方法相比, vHIT 能够提供前庭系统的高频信息 (4-5Hz), 更接近于人体的自然头动频率, 是转椅检查 (0.01Hz-0.64Hz) 和双温检查 (0.01Hz-0.025Hz) 的有益补充^[43]。相较于转椅, vHIT 在有扫视问题的患者和单侧前庭功能损伤定侧上更具优势。

一般来讲, 低频信息比高频信息更加敏感, 文献结果也显示 vHIT (VOR 增益减低以及扫视波出现) 普遍不如双温试验 (半规管偏瘫 CP>25%) 的异常检出率高^[25, 26, 28, 32, 34, 48-50]。这种不一致一方面可能是因为规则前庭传入纤维在低频段有高的增益, 而不规则前庭输入纤维则在高频段有高增益^[51], 另一方面也可能是 vHIT 异常的界定存在争议性, 目前的评价标准过于单一, 普遍未将 VOR 增益值正常但出现扫视波的情况纳入异常的考量中。vHIT 比双温试验检测双侧水平半规管功能损伤^[31]和 VN^[19]等疾病的特异性更高, 但是对 MD 的检出率仍不如双温检查^[34]。可见, 不同疾病应建立不同的诊断标准, 疾病的诊断应结合现有的前庭功能检查进行综合判断, 丰富前庭疾病的检查体系。

参考文献

- 1 Halmagyi G M, Curthoys I S. A clinical sign of canal paresis[J]. Arch Neurol. 1988, 45(7): 737-739.
- 2 Lehen N, Aw S T, et al. Head impulse test reveals residual semicircular canal function after vestibular neurectomy.[J]. Neurology. 2004.
- 3 Park H, Kim J, et al. Isolated floccular infarction: impaired vestibular responses to horizontal head impulse[J]. Journal of Neurology. 2013, 260(6): 1576-1582.
- 4 Mcgarvie L A, Macdougall H G, et al. The Video Head Impulse Test (vHIT) of Semicircular Canal Function - Age-Dependent Normative Values of VOR Gain in Healthy Subjects[J]. Front Neurol. 2015, 6: 154.
- 5 Macdougall H G, Mcgarvie L A, et al. Application of the Video Head Impulse Test to Detect Vertical Semicircular Canal Dysfunction[J]. Otology & Neurotology. 2013, 34(6): 974-979.
- 6 吴子明, 张素珍. 前庭功能检查与选择[J]. 中华耳科学杂志. 2013(3): 397-400.
Wu ZM, Zhang SZ. Vestibular functional test and choice[J]. Journal of Otology. 2013(3): 397-400.
- 7 Schubert M C, Migliaccio A A, et al. Modification of compensatory saccades after a VOR gain recovery[J]. J Vestib Res. 2006, 16(6): 285-291.
- 8 Tweed D, Sievering D, et al. Rotational kinematics of the human

- vestibuloocular reflex. I. Gain matrices[J]. *J Neurophysiol.* 1994, 72(5): 2467–2479.
- 9 Schubert M C, Migliaccio A A, et al. Mechanism of Dynamic Visual Acuity Recovery With Vestibular Rehabilitation[J]. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* 2008, 89(3): 500–507.
- 10 Green D G. Regional variations in the visual acuity for interference fringes on the retina[J]. *J Physiol.* 1970, 207(2): 351–356.
- 11 Holt J C, Lysakowski A, et al. The Efferent Vestibular System[Z]. Springer New York, 2011:135–186.
- 12 Hullar T E, Della S C, et al. Responses of irregularly discharging chinchilla semicircular canal vestibular-nerve afferents during high-frequency head rotations[J]. *J Neurophysiol.* 2005, 93(5): 2777–2786.
- 13 Lysakowski A, Goldberg J M. Morphophysiology of the Vestibular Periphery[J]. Springer Handbook of Auditory Research. 2006, 19: 57–152.
- 14 Rabbitt R D, Breneman K D, et al. Dynamic displacement of normal and detached semicircular canal cupula[J]. *J Assoc Res Otolaryngol.* 2009, 10(4): 497–509.
- 15 Bagnall M W, McElvain L E, et al. Frequency-independent synaptic transmission supports a linear vestibular behavior[J]. *Neuron.* 2008, 60(2): 343–352.
- 16 Rabbitt R D, Damiano E R, et al. Biomechanics of the Semicircular Canals and Otolith Organs: Engineering in Medicine and Biology Society, 1988. Proceedings of the International Conference of the IEEE[Z]. 2004:1056–1057.
- 17 于立身. 前庭功能检查技术[Z]. 第四军医大学出版社, 2013.
- 18 Tian J R, Crane B T, et al. Vestibular catch-up saccades in labyrinthine deficiency[J]. *Experimental Brain Research.* 2000.
- 19 Alhabib S F, Saliba I. Video head impulse test: a review of the literature[J]. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology.* 2016.
- 20 Rey-Martinez J, Batuecas-Caletrio A, et al. HITCal: a software tool for analysis of video head impulse test responses[J]. *Acta Otolaryngol.* 2015, 135(9): 886–894.
- 21 Bartl K, Lehen N, et al. Head Impulse Testing Using Video-oculography[J]. *Annals of the New York Academy of Sciences.* 2009, 1164(1): 331–333.
- 22 Weber K P, Aw S T, et al. Head impulse test in unilateral vestibular loss: vestibulo-ocular reflex and catch-up saccades[J]. *Neurology.* 2008, 70(6): 454–463.
- 23 Macdougall H G, Weber K P, et al. The video head impulse test: diagnostic accuracy in peripheral vestibulopathy[J]. *Neurology.* 2009, 73(14): 1134–1141.
- 24 Blödow A, Pannasch S, et al. Detection of isolated covert saccades with the video head impulse test in peripheral vestibular disorders [J]. *Auris Nasus Larynx.* 2013, 40(4): 348–351.
- 25 Tranter-Entwistle I, Dawes P, et al. Video head impulse in comparison to caloric testing in unilateral vestibular schwannoma[J]. *Acta Otolaryngol.* 2016: 1–5.
- 26 Blödow A, Heinze M, et al. Caloric stimulation and video-head impulse testing in Ménière's disease and vestibular migraine[J]. *Acta Oto-Laryngologica.* 2014, 134(12): 1239–1244.
- 27 Mantokoudis G, Tehrani A S S, et al. The video head impulse test during post-rotatory nystagmus: physiology and clinical implications[J]. *Experimental Brain Research.* 2016, 234(1): 277–286.
- 28 Bell S L, Barker F, et al. A study of the relationship between the video head impulse test and air calorics[J]. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology.* 2015, 272(5): 1287–1294.
- 29 Perez-Fernandez N, Gallegos-Constantino V, et al. Clinical and video-assisted examination of the vestibulo-ocular reflex: a comparative study[J]. *Acta Otorrinolaringol Esp.* 2012, 63(6): 429–435.
- 30 Patterson J N, Bassett A M, et al. Effects of Hand Placement Technique on the Video Head Impulse Test (vHIT) in Younger and Older Adults[J]. *Otol Neurotol.* 2015, 36(6): 1061–1068.
- 31 Hamilton S S, Zhou G, et al. Video head impulse testing (VHIT) in the pediatric population[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2015, 79(8): 1283–1287.
- 32 Zellhuber S, Mahringer A, et al. Relation of video-head-impulse test and caloric irrigation: a study on the recovery in unilateral vestibular neuritis[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2014, 271(9): 2375–2383.
- 33 Kang K W, Lee C, et al. Bilateral Vestibulopathy Documented by Video Head Impulse Tests in Superficial Siderosis[J]. *Otol Neurotol.* 2015, 36(10): 1683–1686.
- 34 Mcgarvie L A, Curthoys I S, et al. What does the dissociation between the results of video head impulse versus caloric testing reveal about the vestibular dysfunction in Meniere's disease?[J]. *Acta Otolaryngol.* 2015, 135(9): 859–865.
- 35 Jung J, Suh M J, et al. Discrepancies between video head impulse and caloric tests in patients with enlarged vestibular aqueduct[J]. *The Laryngoscope.* 2016.
- 36 Guittion D, Volle M. Gaze control in humans: eye-head coordination during orienting movements to targets within and beyond the oculomotor range[J]. *J Neurophysiol.* 1987, 58(3): 427–459.
- 37 Lehen N, Glasauer S, et al. Head impulses in complete bilateral vestibular loss: catch-up saccades require visual input[J]. *Neurology.* 2013, 81(7): 688–690.
- 38 Schubert M C, Tusa R J, et al. Optimizing the sensitivity of the head thrust test for identifying vestibular hypofunction[J]. *Phys Ther.* 2004, 84(2): 151–158.
- 39 Matino-Soler E, Esteller-More E, 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.
- 40 Takemori S, Suzuki J I. Eye deviations from neck torsion in humans[J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1971, 80(3): 439–444.
- 41 Schubert M C, Hall C D, et al. Oculomotor strategies and their effect on reducing gaze position error[J]. *Otol Neurotol.* 2010, 31(2): 228–231.
- 42 Black R A, Halmagyi G M, et al. The active head-impulse test in unilateral peripheral vestibulopathy[J]. *Arch Neurol.* 2005, 62(2): 290–293.
- 43 Lee S, Kim H, et al. Comparison of caloric and head-impulse tests during the attacks of Meniere's disease[J]. *The Laryngoscope.* 2016.
- 44 Mcgarvie L A, Curthoys I S, et al. What does the head impulse test versus caloric dissociation reveal about vestibular dysfunction in Meniere's disease?[J]. *Ann N Y Acad Sci.* 2015, 1343: 58–62.
- 45 Cordero-Yanza J A, Arrieta V E, et al. Comparative study between the caloric vestibular and the video-head impulse tests in unilateral Meniere's disease[J]. *Acta Otolaryngol.* 2017: 1–5.
- 46 Martin-Sanz E, Rueda A, et al. Vestibular Restoration and Adaptation in Vestibular Neuritis and Ramsay Hunt Syndrome With Vertigo[J]. *Otol Neurotol.* 2017, 38(7): e203–e208.
- 47 Macdougall H G, Curthoys I S. Plasticity during Vestibular Compensation: The Role of Saccades[J]. *Front Neurol.* 2012, 3: 21.
- 48 Batuecas-Caletrio A, Santa C S, et al. The map of dizziness in vestibular schwannoma[J]. *Laryngoscope.* 2015, 125(12): 2784–2789.
- 49 Nicolas Perez J R. Head-Impulse and Caloric Tests in Patients With Dizziness[J]. *Otology & Neurology.* 2003, 6(24): 913–917.
- 50 Mahringer A, Rambold H A. Caloric test and video-head-impulse: a study of vertigo/dizziness patients in a community hospital[J]. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology.* 2014, 271(3): 463–472.
- 51 Haque A, Angelaki D E, et al. Spatial tuning and dynamics of vestibular semicircular canal afferents in rhesus monkeys[J]. *Exp Brain Res.* 2004, 155(1): 81–90.