

· 眩晕专辑 ·

计算机辅助动态视敏度与 vHIT 的一致性评估

杜一 王郁 刘兴健 任丽丽 吴子明*

中国人民解放军总医院耳鼻咽喉头颈外科医学部

国家耳鼻咽喉疾病临床医学研究中心

聋病教育部重点实验室

聋病防治北京市重点实验室

【摘要】目的 动态视敏度(Dynamic Visual Acuity, DVA)与视频头脉冲试验(video head impulse test, vHIT)均可提供半规管功能的损伤评估和康复反馈。本文主要比较计算机辅助测量的 DVA(computerized DVA, cDVA)与 vHIT 评估眩晕患者的表现,探讨 cDVA 评估前庭损伤的适用性与有效性。**方法** 本文选择 35 名眩晕患者以及 4 名健康受试者进行 cDVA 与 vHIT 试验。用验光 C 字环在头静止和头动时分别记录静态视敏度(static visual acuity, SVA)与 DVA,计算 DVA-SVA 差值标为 DVA 值。vHIT 原始数据以 XML 格式导出,用 HitCal 软件记录扫视波参数。使用 IBM SPSS 20.0 软件行统计分析, $P < 0.05$ 时认为有统计学差异,使用 python 进行数据可视化。**结果** 35 名患者平均年龄为 46 ± 17 岁,无扫视波侧别的 DVA 值为 0.33,明显小于有扫视波侧(DVA 值为 0.42,无扫视波侧 $N=30$,有扫视波侧 $N=40$, $P=0.045$)。健康受试者的 DVA 值均 ≤ 0.3 (除外一例有扫视波侧 > 0.3)。双侧 DVA 值 > 0.3 的患者中,分别有 10/21(左侧)和 10/18(右侧)扫视波幅度较高($\geq 75^\circ/s$),4/21(左侧)和 2/18(右侧)有中等幅度扫视($40 \sim 74^\circ/s$),双侧均有 6 名无扫视波的患者,但均有 4 名对侧存在较高幅度扫视;DVA 值 > 0.3 的侧别中,扫视波出现时间 $> 200ms$ 分别有 11/21(左侧)和 7/18(右侧),扫视波出现时间介于 $140 \sim 200ms$ 之间的分别有 2/21(左侧)和 5/21(右侧)。**结论** vHIT 中扫视波幅度大于 $75^\circ/s$ 、扫视波出现时间 $> 200ms$ 的侧别较易产生 0.3 以上的异常 DVA 值。在有扫视波但无 DVA 值异常部分侧别中,对侧 DVA 值也较易有异常高的值。

【关键词】 DVA 值;扫视波;视频头脉冲;前庭功能减退;前庭功能检查**【中图分类号】** R764**【文献标识码】** A**【文章编号】** 1672-2922(2023)01-01-5

Evaluation of Consistency in Computerized Dynamic Visual Acuity and Video Head Impulse Test

DU Yi, WANG Yu, LIU Xingjian, REN Lili, WU Ziming*

College of Otolaryngology Head and Neck Surgery, Chinese PLA General Hospital, Chinese PLA Medical School; National Clinical Research Center for Otolaryngologic Diseases;

State Key Lab of Hearing Science, Ministry of Education; Beijing Key Laboratory of Hearing Impairment Prevention and Treatment, 28 Fuxing Road, Beijing 100853, China

Corresponding author: WU Ziming

Email: zimingwu@126.com

【Abstract】Objective Both dynamic visual acuity (DVA) and video head impulse test (vHIT) can be used in assessment for vestibular dysfunction and rehabilitation. This study aims to evaluate the consistency of computerized DVA (cDVA) to vHIT in vertigo patients for its applicability and effectiveness. **Method** In this study, 35 patients with vertigo and 4 healthy controls received cDVA and vHIT tests. Static visual acuity (SVA) and DVA were recorded with the head resting still and during head movement. The difference between DVA and SVA was assigned as DVA value. Raw saccades in vHIT were marked using the HitCal software and analyzed using the SPSS 20.0 software. **Result** The mean age of the 35 patients was 46 ± 17 years. The DVA value on the non-saccades side (0.33, $N = 30$) was significantly lower than that on the saccades side (0.42, $N = 40$) ($P=0.045$). In one healthy subject with saccades, DVA value was 0.4 on one

side and ≤ 0.3 on the other side. When DVA value was > 0.3 , most patients showed high saccades amplitudes ($\geq 75^\circ/\text{s}$) (10/21 on left and 10/18 on right) while some showed moderate level saccade amplitudes ($40 - 74^\circ/\text{s}$) (4/21 on left and 2/18 on right). Six patients showed no saccades on left side and 6 showed no saccades on right side. However, 4 of these patients showed high amplitude saccades on the opposite side. Saccade latency was longer than 200 ms in 11/21(left) and 7/18 (right) patients, and between 140 and 200 ms in 2/21(left) and 5/21 (right) patients. **Conclusion** When the saccades amplitude is greater than $75^\circ/\text{s}$ or saccade latency is longer than 200 ms, vertigo patients are more likely to exhibit an abnormal DVA value ≥ 0.3 . If one side shows no saccade and a normal DVA value, DVA value is likely to be abnormally high on the other.

【Key words】 DVA values; Saccades; Video head impulse test; Vestibular dysfunction; Vestibular function examination

单侧或双侧前庭功能减退的患者,在头动时可能出现头晕和视觉模糊(振动幻视)的症状^[1],严重时可使其抗拒甚至回避社交活动。这种振动幻视体现了前庭眼反射(vestibular-ocular reflex, VOR)的损失,可影响头动时视网膜上物体的稳定性,引起动态视敏度(Dynamic Visual Acuity, DVA)下降^[2]。当DVA与静态视敏度(Static Visual Acuity, SVA头静止时视力)差距较大时,提示前庭功能损伤^[3]。临床上,DVA可以简单测试VOR并评估半规管功能^[4],为临床医生提供损伤评估与康复反馈。

测试DVA最常见的方法为患者先后在静止和头动时(约2Hz,水平方向 $\pm 30^\circ$)阅读Snellen视力表,辨认四个方向的E字表^[3,5],计算静止与头动时可阅读的最小(行)之间差值。异常标准为差值大于3条线,该差距约为2倍的视力损失(等于0.3 LogMAR(Logarithm of the Minimal Angle Resolvable最小分辨角对数)),但Snellen视力表用英尺标距,实际临床测量时需要对其距离进行换算,适于临床粗测。Schubert对DVA测试进行了改良^[6],从中等难度开始,但该方法下头动也需100次左右。Peters和Bloomberg首先提出用验光C字环评估患者DVA,测试场景为在跑步机上模拟走路,可测试8个方向^[7]。计算机辅助测量的DVA也称cDVA(computerized DVA)或fHIT(functional Head impulse test),在高速被动头动时(通常高于 $100^\circ/\text{s}$)让受试者识别屏幕上字母开口的方向,计算机依据答题正确与否改变屏幕中央显示的字母大小,总测试准确率转换成LogMAR与标准值进行比较^[8],该方法可规避如传统DVA方法中快速头动中对对侧的可能影响。

评价前庭功能损伤和康复时,DVA与头脉冲试验(head impulse test, HIT)或视频头脉冲试验(video HIT, vHIT)结果有较好的相关性。单侧前庭障碍(Unilateral vestibular hypofunction, UVH)患者行走和头旋转时出现VOR增益值降低以及明显的扫视波,同时DVA分数下降^[8-10]。DVA也可提示前庭康复情况,Michel等人用DVA和vHIT跟踪评估

了28名UVH患者,发现前庭康复练习的积极意义^[11]。Herdman等发现UVH患者康复4周后cDVA有明显提高,提出康复训练可促进头动时凝视稳定性的恢复^[12]。

尽管vHIT已广泛应用于临床,且为前庭功能的重要客观指标,但是对于患者主观症状的评估,DVA仍然是不可忽视的重要工具。虽然DVA在临床应用已久,计算机辅助技术下的cDVA在国内鲜有报道与研究。在老年患者、瞳孔遮蔽患者、眼妆患者和近视患者等vHIT应用受限的情况下,cDVA可以在一定程度上提示VOR功能。本文的目的是比较cDVA测试与vHIT评估眩晕患者表现的一致性,探讨cDVA评估前庭损伤的适用性与有效性。

2 材料与方法

2.1 受试者

本实验选择于2022年3月至2022年5月期间到解放军总医院耳鼻咽喉头颈外科眩晕专科门诊问诊后行前庭功能检查的患者55名,所有患者均在同一天内完成所有检查。本文排除信息重复或不完整的患者、试验配合较差患者、最终纳入35名患者进行后续研究,招募4名健康受试者进行对照,试验由解放军总医院伦理委员会批准。

2.2 cDVA流程

cDVA测试在半暗房间进行,使用VertiGoggles(ZT-VNG-II, Shanghai ZEHNT Medical Technology Co., Ltd., Shanghai, China)采集,包括一台笔记本电脑、一台24寸液晶显示器和固定在头部的速度传感器。整个试验过程中,受试者可佩戴眼镜或隐形眼镜测试其矫正后视力。所有受试者坐于电脑屏幕前1.2m处,保证视线与屏幕中央平齐,前额部固定有加速度传感器的记录装置。所有流程均提前告知患者,并通过预实验确保其正确理解并可实施操作。记录的参数包括:SVA、最小分辨率角度logMAR值、Snellen等效值($\log\text{MAR}0.301=\text{Snellen}20/40$, $\log\text{MAR}0.000=\text{Snellen}20/20$ ^[13])。

(1)SVA测试:用验光C字环记录SVA,患者在

手柄上按键答题后即刻出现C字环,在屏幕上快速闪现80ms后消失,首次按随意键开始,受试者根据看到的C字开口朝向在手柄上选择对应按键(右上、正上、左上、左、右、左下、中下、右下)。根据受试者的回答软件自动调整字母大小,受试者回答正确则字母缩小,回答错误则字母放大,直至其无法辨认字母开口方向,得出受试者能识别的最小字母时的视力,即为SVA。

(2)DVA测试:嘱受试者放松颈部肌肉,操作者在水平面上对患者快速随机地施加甩头刺激(速度位于80°/s~120°/s区间)。研究者水平向右中速转动受试者头部,峰速度达80°/s以上时屏幕显示字母,在屏幕上快速闪现80ms后消失,受试者根据看到的字母在遥控器上进行回答。答题步骤同SVA测试,得出受试者在向右转头时能识别的最小字母时的视力,计算其与静态视敏度的差值,即为水平向右时的DVA值。水平向左时步骤同上^[4]。

2.3 vHIT检查及参数分析

vHIT使用Otometrics(ICS Impulse, GN Oto-metrics Inc., 丹麦)记录。患者坐位注视前方1米的视觉目标,头部与视靶平行,操作者在水平或垂直半规管平面每侧施加约十个被动、突然、快速、突然,小幅脉冲刺激^[14]。扫视波原始数据以XML格式导出,用开源HitCal v5.3软件(<https://github.com/bendermh/HITCal>)标记扫视波并导出其时间和幅度参数,如有多个扫视波,本文仅记录第一个扫视波参数^[15]。本文记录的扫视波满足任一侧别每次脉冲的扫视波出现率超过80%,不限幅值(但未记录到10°/s以下扫视波)。在vHIT中,VOR增益和扫视波出现是疾病损伤的两个重要表现,扫视波的量化评估中一直侧重时间参数,如“显性”与“隐性”扫视波,PR分数等,但在笔者先前的研究中发现相对于VOR增益值,vHIT扫视波幅度在检测损伤时表现更为敏感^[15-18],故在后续vHIT参数研究中也针对扫视波幅度参数进行量化评估。

2.4 统计分析 & 数据可视化

使用IBM SPSS 20.0 软件(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)进行统计分析。符合正态分布的参数用独立样本t检验进行均值比较。所有数据均以均数±标准差表示。 $P<0.05$ 时有统计学差异。散点图展示了数据分布情况,折线图、箱线图和柱状图展示了数据的统计特征和平均值,数据可视化用Python 3.7 软件(Python software Foundation, DE, USA.)编码。

3 结果

3.1 患者前庭功能检查概述

所有患者的男女比例为12:23,平均年龄为46±17岁,前庭检查结果中有SN(+)的患者为3人,有HSN(+)的患者为8人,PN(+)患者1人,双温试验异常的患者5人。4名健康受试者的男女比例为1:1,平均年龄为33±4岁。见表1。

表1 眩晕患者的前庭检查结果
Table 1 Vestibular examination results in vertigo patients

Patient	Gender	Age	SN	HSN	PN	CT
#1	Male	10	(-)	(-)	(-)	L(56%)
#2	Female	26	(-)	L(16°/s)	(-)	/
#3	Male	46	(-)	(-)	(-)	/
#4	Female	61	(-)	(-)	(-)	/
#5	Female	41	(-)	(-)	(-)	/
#6	Male	49	R(9°/s)	R(13°/s)	(-)	/
#7	Female	37	(-)	(-)	(-)	(-)
#8	Male	64	(-)	L(5°/s)	(-)	(-)
#9	Male	47	(-)	(-)	(-)	R(56%)
#10	Male	66	(-)	R(10°/s)	(-)	(-)
#11	Female	61	(-)	R(5°/s)	(-)	(-)
#12	Female	63	(-)	(-)	(-)	(-)
#13	Female	36	(-)	(-)	(-)	(-)
#14	Female	27	(-)	(-)	(-)	L(33%)
#15	Male	66	(-)	(-)	(-)	L(29%)
#16	Male	82	(-)	(-)	(-)	(-)
#17	Female	61	(-)	(-)	(-)	(-)
#18	Female	39	(-)	(-)	(-)	(-)
#19	Male	59	(-)	(-)	(-)	R(88%)
#20	Female	31	(-)	(-)	(-)	/
#21	Male	60	(-)	(-)	(-)	/
#22	Female	18	L(7°/s)	L(19°/s)	/	/
#23	Male	48	(-)	(-)	(-)	/
#24	Female	37	(-)	(-)	(-)	/
#25	Female	45	(-)	(-)	(-)	(-)
#26	Female	57	(-)	(-)	(-)	/
#27	Female	40	(-)	(-)	(-)	(-)
#28	Female	29	(-)	(-)	RP(+)	/
#29	Female	52	L(5°/s)	L(5°/s)	(-)	/
#30	Female	68	(-)	(-)	(-)	/
#31	Female	52	(-)	(-)	(-)	(-)
#32	Female	25	(-)	(-)	(-)	/
#33	Male	35	(-)	(-)	(-)	/
#34	Female	20	L(8°/s)	L(8°/s)	(-)	/
#35	Female	42	(-)	(-)	(-)	/

*spontaneous nystagmus(SN), head shaking nystagmus(HSN), positioning nystagmus(PN),RP(+) is nystagmus on the right posterior Dix-Hallpike position, L(left),R(right)and caloric test(CT).

3.2 有无扫视波对VOR增益和DVA的影响

图1及表2比较了35名患者在水平半规管有、无扫视波的情况下增益值和DVA值的不同。无扫视情况下DVA值平均为0.33,明显小于有扫视波的情况(DVA为0.42, $P=0.045$),同时增益值也有统计学差异(1.01 vs. 0.87 , $P=0.000$)。DVA值的分布在有扫视和无扫视情况下都比较广泛,无扫视的范围为0–0.7,提示可能无扫视情况下DVA值也可能异常($>0.36^{[9,19]}$),有扫视的DVA值范围为0.1–0.7,提示可能在有扫视情况下DVA值也可能正常(≤ 0.36)。

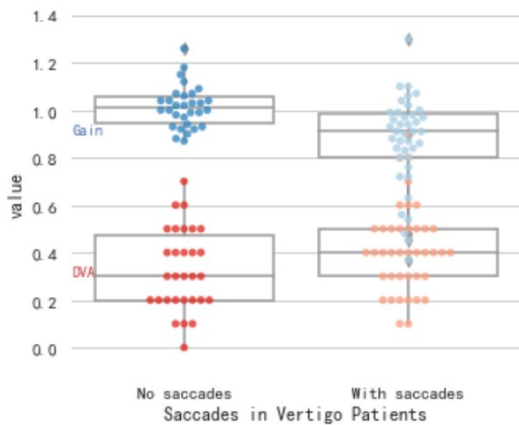


图1 眩晕患者有、无扫视波的VOR增益和DVA值比较
Fig.1 The VOR gain and DVA value comparison between vertigo patients with and without saccades.

表2 有无扫视波的DVA值和增益均值比较
Table 2 The DVA value and VOR gain comparison between vertigo patients with and without saccades

Parameters	No Saccades N = 30	With Saccades N = 40	P
DVA Value	0.33±0.17	0.42±0.18	0.045*
VOR Gain	1.01±0.09	0.87±0.19	0.000**

4名健康受试者中,一名受试者单侧出现扫视波,波幅为56°/s,该侧DVA值为0.4,所有侧别的增益值为 1.00 ± 0.05 ,DVA值为 0.2 ± 0.1 ,其中有扫视波侧的DVA最高,其余侧别的DVA值均 ≤ 0.3 。

3.3 眩晕患者不同扫视波幅度对DVA的影响

图2显示了35名眩晕患者扫视波幅度(图2A中折线图)与DVA值(柱状图)的比较以及扫视波时间(图2B中折线图)与DVA值(柱状图)的比较。DVA值与扫视波幅度整体趋势一致,即扫视波出现且幅度越高,DVA值越大。在左侧DVA值 >0.3 的21名患者中,10名单侧扫视波幅度较高($\geq 75^\circ/\text{s}$),4名患者扫视波幅度属于40~75°/s的中等幅度,6名没有诱发出扫视波,但这6名中有4名对侧有扫视且其中3名扫视波幅度极高($>150^\circ/\text{s}$)。右侧DVA值 >0.3 的18名患者中,有10名患者扫视波幅度较高($\geq 75^\circ/\text{s}$),2名患者扫视波幅度属于40~74°/s

的中等幅度,6名患者该侧无扫视波出现,但4名对侧有扫视波出现(幅度 $\geq 75^\circ/\text{s}$)。

扫视波出现时间与DVA值的整体趋势表现也一致,即扫视波出现时间越长,DVA值越大。在左侧DVA值 >0.3 的21名患者中,11名扫视波出现时间 $>200\text{ms}$,2名患者扫视波出现时间仍在头动后出现位于140~200ms之间,2名患者扫视波出现在头动中($<140\text{ms}$)。在右侧DVA值 >0.3 的18名患者中,7名患者扫视波出现时间 $>200\text{ms}$,5名患者扫视波出现时间介于140~200ms之间。

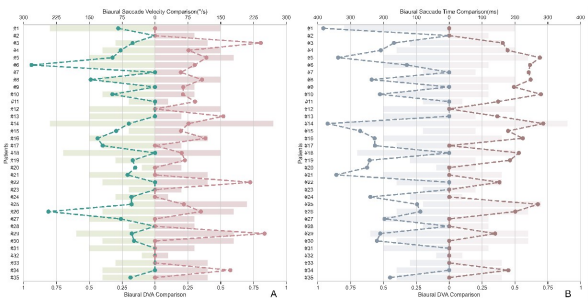


图2 所有患者左右侧DVA值与扫视幅度参数比较。(A.柱状图为左、右侧DVA比较,折线图为左、右侧扫视波幅度(°/s)比较;B.柱状图为左、右侧DVA比较,折线图为左、右侧扫视波时间(ms)比较)

Fig.2 The comparison between DVA values and saccades parameters in all vertigo patients. (A. The histogram shows a comparison of left and right DVA values, and the broken line shows a comparison of left and right saccades velocity($^\circ/\text{s}$); B. The histogram shows a comparison of left and right DVA values, and the broken line shows a comparison of left and right saccades latency(ms))

4 讨论

本文分析眩晕患者的vHIT和cDVA结果发现,有扫视波侧较无扫视波侧DVA值有显著差异,扫视波幅度大于75°/s、扫视波出现时间 $>200\text{ms}$ 的侧别较易产生0.3以上的异常DVA值。部分有扫视波但无DVA值异常的侧别中,对侧DVA值也较易出现DVA值异常高的情况。

DVA值与vHIT扫视波较为一致的表现可能由于其机理基本一致。VOR正常时可在主动或被动头动中稳定凝视,保持物体在视网膜上的稳定性,这是通过运动时前庭器产生与头动方向相反的等量补偿性眼动实现的^[20,21]。VOR受损可致视靶从中央凹滑脱,头动中视敏度下降,产生头晕或不稳感^[22–24]。先前的研究也支持扫视波幅度与头动末期的眼位呈线性关系,提示前庭功能损伤程度,且患侧扫视波幅度越高的患者DVA值越差^[15,19,25]。本文研究中出现的扫视波对侧DVA值也有较高异常值的情况,与Tian等人报道的较高速下UVH患者同

侧 DVA 值不显著高于对侧或正常受试者的发现较为一致^[10], 原因可能为补偿方向的扫视波在一定程度上改善了 DVA^[9]。

在临床实际应用 cDVA 时, 一些因素也可影响其测试结果。正常 DVA 值为 0.36, 且随年龄增长而增大^[9, 19]。年龄增加也可使 VOR 增益下降, 扫视波幅度增加^[26, 27]。本文的结果也支持这一观点, 在患者 #12、#21、#25、#27、#30、#31、#35 在无扫视波、或扫视波幅度 <75°/s 情况下, DVA 也会有 >0.3 的表现, 这几位患者的年龄在 40–70 的中老年年龄段, 可能是其 DVA 值较高的原因。但 Wettstein 等人也提出 vHIT 没有年龄相关的变化, 认为 DVA 值作为一种间接测试, 其值的下降不应与 VOR 功能下降直接等同^[19]。虽然有研究者提出用 C 字环比 E 字环、被动比主动, 头动速度 150°/s 以上的 DVA 方法更有效^[4, 28], 但在实际操作过程中笔者发现头速 120°/s 以上时受试者普遍无法看清视标方向, 导致试验很快终止, 因此在试验规范化上还需要临床专家进行更多探讨和研究。

参考文献

- Richard MB. Oscillopsia [J]. J Archives of Neurology Psychiatry, 1936, 36(3):586.
- Miller JW, Ludvig E. The effect of relative motion on visual acuity[J]. Surv Ophthalmol, 1962, 7(7):83-116.
- Barber HO. Vestibular neurophysiology [J]. Otolaryngol Head Neck Surg, 1984, 92(1):55-58.
- Vital D, Hegemann SC, Straumann D, et al. A new dynamic visual acuity test to assess peripheral vestibular function [J]. Arch Otolaryngol Head Neck Surg, 2010, 136(7):686-691.
- Longridge NS, Mallinson AI. A discussion of the dynamic illegible "E" test: a new method of screening for aminoglycoside vestibulotoxicity [J]. Otolaryngol Head Neck Surg, 1984, 92(6):671-677.
- Schubert MC, Migliaccio AA, Della Santina CC. Dynamic visual acuity during passive head thrusts in canal planes [J]. J Assoc Res Otolaryngol, 2006, 7(4):329-338.
- Peters BT, Bloomberg JJ. Dynamic visual acuity using "far" and "near" targets [J]. Acta Otolaryngol, 2005, 125(4):353-357.
- Chen PY, Jheng YC, Huang SE, et al. Gaze shift dynamic visual acuity: A functional test of gaze stability that distinguishes unilateral vestibular hypofunction [J]. J Vestib Res, 2021, 31(1):23-32.
- Herdman SJ, Tusa RJ, Blatt P, et al. Computerized dynamic visual acuity test in the assessment of vestibular deficits [J]. Am J Otol, 1998, 19(6):790-796.
- Tian JR, Shubayev I, Demer JL. Dynamic visual acuity during transient and sinusoidal yaw rotation in normal and unilaterally vestibulopathic humans [J]. Exp Brain Res, 2001, 137(1):12-25.
- Michel L, Laurent T, Alain T. Rehabilitation of dynamic visual acuity in patients with unilateral vestibular hypofunction: earlier is better [J]. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2020, 277(1):103-113.
- Herdman SJ, Schubert MC, Das VE, et al. Recovery of dynamic visual acuity in unilateral vestibular hypofunction [J]. Arch Otolaryngol Head Neck Surg, 2003, 129(8):819-824.
- Schubert MC, Herdman SJ, Tusa RJ. Vertical dynamic visual acuity in normal subjects and patients with vestibular hypofunction [J]. Otol Neurotol, 2002, 23(3):372-877.
- Halmagyi GM, Curthoys IS. A clinical sign of canal paresis [J]. Archives of Neurology, 1988, 45(7):737-739.
- 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.
- Du Y, Ren LL, Liu XJ, et al. The characteristics of vHIT gain and PR score in peripheral vestibular disorders [J]. Acta Otolaryngol, 2021, 141(1):43-49.
- Du Y, Ren LL, Liu XJ, et al. Machine learning method intervention: Determine proper screening tests for vestibular disorders [J]. Auris Nasus Larynx, 2022, 49(4):564-570.
- 杜一, 刘兴健, 任丽丽, 等. 前庭功能筛查的初步研究[J]. 中华耳科学杂志, 2022, 20(1):10-14.
- Du Y, Liu XJ, Ren LL, et al. The preliminary study of vestibular function screening tests [J]. Chinese Journal of Otolaryngology, 2022, 20(1):10-14.
- Wettstein VG, Weber KP, Bockisch CJ, et al. Compensatory saccades in head impulse testing influence the dynamic visual acuity of patients with unilateral peripheral vestibulopathy1 [J]. J Vestib Res, 2016, 26(4):395-402.
- Leigh RJ, Brandt T. A reevaluation of the vestibulo-ocular reflex: new ideas of its purpose, properties, neural substrate, and disorders [J]. Neurology, 1993, 43(7):1288-1295.
- Leigh RJ, Sawyer RN, Grant, MP, et al. High-frequency vestibulo-ocular reflex as a diagnostic tool [J]. Ann N Y Acad Sci, 1992, 656:305-314.
- Bhansali SA, Stockwell CW, Bojrab DI. Oscillopsia in patients with loss of vestibular function [J]. Otolaryngol Head Neck Surg, 1993, 109(1):120-125.
- Chambers BR, Mai M, Barber HO. Bilateral vestibular loss, oscillopsia, and the cervico-ocular reflex[J]. Otolaryngol Head Neck Surg, 1985, 93(3):403-407.
- Gresty MA, Hess K, Leech J. Disorders of the vestibulo-ocular reflex producing oscillopsia and mechanisms compensating for loss of labyrinthine function[J]. Brain, 1977, 100(4):693-716.
- John LR, Zee DS. The neurology of eye movements[M]. New York: Oxford University Press, 2015.
- Anson ER, Bigelow RT, Carey JP, et al. Aging increases compensatory saccade amplitude in the video head impulse test[J]. Front Neurol, 2016, 7:113.
- Anson ER, Bigelow RT, Carey JP, et al. VOR gain is related to compensatory saccades in healthy older adults[J]. Front Aging Neurosci, 2016, 8:150.
- Tian JR, Shubayev I, Demer JL. Dynamic visual acuity during passive and self-generated transient head rotation in normal and unilaterally vestibulopathic humans[J]. Exp Brain Res, 2002, 142(2):486-495.