

## การประเมินระบบควบคุมการทรงตัว 2561

วิศาล มหาสิทธิวัฒน์

ภาควิชาโสต ศอ นาสิกวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

### บทคัดย่อ

อาการเวียนศีรษะจัดได้ว่าเป็นอาการนำที่ผู้ป่วยมาปรึกษาแพทย์บ่อย ต้นเหตุเกิดจากความผิดปกติของอวัยวะในระบบประสาทการทรงตัว การประเมินต้องใช้ข้อมูลจากการซักประวัติ สอบถามอาการ การตรวจร่างกายทางประสาทวิทยา การตรวจดูตากระตุก รวมถึงการทดสอบด้วยเครื่องมือจำเพาะ บทความนี้ได้รวบรวมองค์ความรู้ปัจจุบันที่ช่วยแพทย์ประเมินระบบควบคุมการทรงตัว เพื่อส่งเสริมการวินิจฉัย ช่วยวิเคราะห์หาตำแหน่งรอยโรค ประเมินความรุนแรงและช่วยยืนยันผลการรักษาโรคด้วยหลักฐานเชิงประจักษ์

**คำสำคัญ:** เวียนศีรษะ ระบบควบคุมการทรงตัว หลักฐานเชิงประจักษ์ทางการแพทย์

### ผู้พิมพ์ประสานงาน:

วิศาล มหาสิทธิวัฒน์

ภาควิชาโสต ศอ นาสิกวิทยา

คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

62 หมู่ 7 ตำบลอ้อมครีกรี อำเภอบางกรวย

จังหวัดนครนายก 26120

อีเมล: visan@g.swu.ac.th

# The assessment of the control of vestibular system 2018

Visan Mahasittihwat

Department of Otolaryngology, Faculty of Medicine, Srinakarinwirot University

## Abstract

One of the common complaints that bring patients consult doctor is vertigo. Therefore, its caused by vestibular dysfunctions. The assessment composes with specific history, neurological examination, oculomotor testing, nystagmus including vestibular function test. Accordingly, this up-to-date article will support physician to evaluate the vestibular system to confirm the diagnosis, localizing lesions, a degree of severity and ensuring stage of improvement with evidence-based medicine.

**Keywords:** vertigo, vestibular system, evidence-based medicine

## Corresponding Author:

Visan Mahasittihwat

Department of Otolaryngology,  
Faculty of Medicine, Srinakharinwirot University  
62 Moo 7, Rangsit-Nakhon Nayok Road,  
Ongkharak, Nakhon Nayok, Thailand, 26120  
E-mail: visan@g.swu.ac.th

## บทนำ

เครื่องมือและความรู้เกี่ยวกับระบบควบคุมการทรงตัวในปัจจุบันได้มีความก้าวหน้าเปลี่ยนแปลงบทความนี้อธิบายถึงความรู้พื้นฐาน เครื่องมือตรวจและการแปลผลการตรวจเพื่อประกอบการวินิจฉัย

**หน้าที่ของระบบประสาททรงตัวส่วนปลาย (peripheral vestibular system)**

ระบบประสาททรงตัวส่วนปลาย มีส่วนประกอบ คือ

1. vestibular labyrinth เป็นส่วนหนึ่งของหูชั้นใน
2. แขนงเส้นประสาท vestibular ของประสาทสมองคู่ที่ 8
3. เส้นเลือดที่มาเลี้ยง

หน้าที่ของระบบการควบคุมการทรงตัวส่วนปลาย คือ การแปลแรงที่เกิดขึ้นขณะศีรษะเคลื่อนไหวไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งไปสู่ระบบประสาทส่วนกลาง นอกจากนี้ สมองยังต้องรับข้อมูลจากระบบการจ้องมองจากตา (visual inputs) และระบบการรับรู้อิริยาบถในข้อและกล้ามเนื้อ (proprioceptors) แล้วรวมข้อมูลเพื่อรายงานให้ร่างกายรับรู้รักษาเสถียรภาพการจ้องมองกับการเคลื่อนไหวของศีรษะ (vestibulo-ocular reflex) รักษาเสถียรภาพของการมองวัตถุขณะศีรษะนิ่ง (optokinetic reflex) และช่วยควบคุมสมภาวะสมดุลท่าทางโดยส่งข้อมูลไปยังระบบการทำงานของกล้ามเนื้อ (vestibulo-spinal reflex)

**กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของอวัยวะรับรู้การทรงตัวของหูชั้นใน**

ระบบประสาททรงตัวส่วนปลาย (vestibular labyrinth)<sup>1</sup> ประกอบด้วย otolith organs และ semicircular canals ฝังตัวอยู่ใน otic capsule มีส่วนที่เป็นกระดูกเรียกว่า bony labyrinth ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ temporal bone

ด้านในของ otic capsule มีเยื่อบางๆ เรียกว่า membranous labyrinth กั้นส่วนประกอบที่เป็นน้ำสองชนิด คือ endolymph ที่มีองค์ประกอบคล้ายกับน้ำในเซลล์คือ มี potassium สูงและ sodium ต่ำคอยบำรุงรักษาสภาพ hair cell ต่างๆ ให้ทำงานได้อย่างเป็นปกติ ส่วน perilymph มีองค์ประกอบเหมือนกับ extracellular fluid มี potassium ต่ำและ sodium สูง

Otolith organs จะอยู่ในช่อง vestibule ของหูชั้นใน มีส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ utricle ที่วางอยู่ในตำแหน่งค่อนข้างด้านบนและติดต่อกับ semicircular canal และ saccule วางอยู่ด้านล่างในติดกับ cochlear ภายใน otolith มีอวัยวะรับรู้ความรู้สึก เรียกว่า macule ทำหน้าที่รับสัญญาณการเคลื่อนไหวด้วยอัตราเร่งเชิงเส้น (linear accelerations) อยู่ 2 ตำแหน่ง คือ

1. utricular macule รับหน้าที่รับรู้การเคลื่อนไหวระนาบในแนวราบ (horizontal plane)
2. saccular macule ทำหน้าที่รับรู้การเคลื่อนไหวระนาบในแนวตั้ง (vertical plane)

การรับรู้การเคลื่อนไหวนี้เกิดขึ้นจากการเคลื่อนไหวของ stereocilia ของ hair cell ที่อยู่ใน maculae การเคลื่อนไหวเป็นผลจากการที่มีชั้นหินปูน calcium carbonate crystals หรือที่เรียกว่า otoconia มีคุณสมบัติเป็นวัตถุหนักมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำ perilymph วางทับอยู่บนชั้นเจล mucopolysaccharide ที่เรียกว่า otolithic membrane โดยมี stereocilia ฝังตัวอยู่เมื่อศีรษะเคลื่อนไหวและดึงให้ stereocilia เคลื่อนไหวตามแนวแรง (vector) ผลจึงเกิดการรับรู้การเคลื่อนไหวทั้งสองระนาบคือ แนวราบและแนวตั้ง

Semicircular canals (SCC) มีลักษณะเป็นท่อโค้งเป็นรูปกึ่งวงกลม จำนวน 3 ท่อ วางตัว

เกือบตั้งฉากซึ่งกันและกัน<sup>2</sup> ได้แก่ superior SCC (anterior SCC), posterior SCC (inferior SCC) และ horizontal SCC (lateral SCC) การวางตัวของ superior SCC และ posterior SCC อยู่ในแนวตั้ง (vertical) วางตัวเอียงออกจากแนวกลางของศีรษะไป 45 องศา ส่วน horizontal SCC วางตัวในแนวขนานกับพื้นแต่เอียงทางด้านหน้าขึ้นเหนือเส้นขนานประมาณ 30 องศา ภายในท่อจะมีเยื่อบางๆ membranous labyrinth ที่บรรจุน้ำ endolymph โดยที่ปลายท่อด้านหนึ่งจะพองออกเป็นกระเปาะเรียกว่า ampulla ภายในจะมีอวัยวะรับรู้การทรงตัว เรียกว่า crista ampullaris ที่ประกอบด้วย hair cell หลายตัวเรียงกันบนฐาน (cupula) และมีเจลคลุมอยู่ด้านบนยื่นจนปิดกั้นทำให้ endolymph เคลื่อนไหวอย่างจำกัด hair cell ทำหน้าที่รับรู้การเคลื่อนไหวแบบอัตราเร่งเชิงมุม angular acceleration ด้วยการรับรู้ทิศทาง การเคลื่อนที่ของน้ำ endolymph ที่อยู่ในแต่ละ SCC ว่าน้ำเคลื่อนเข้าหาหรือออกจาก ampulla การทำงานของ hair cell นี้จะอาศัยการพัดโบกของ stereocilia ที่พัดเข้าหาหรือพัดออกจาก kinocilium ซึ่งการพัดเข้าหาจะเป็นการปล่อยให้ potassium เคลื่อนที่เข้าสู่ hair cell เกิดภาวะ depolarization และเกิดการเคลื่อนที่เข้าของ calcium เข้าสู่ภายในเซลล์ก่อผลให้ neurotransmitter (glutamate) เคลื่อนออกจาก hair cell ไปกระตุ้นปลายประสาท afferent ที่มา synapse กับ hair cell เป็นการเพิ่มกระแสไฟฟ้า firing rate เกิดเป็นภาวะ excitation ในทางกลับกันหาก stereocilia พัดออกจะเป็นการดึง potassium ออกจาก hair cell แล้ว calcium ถูกกั้นไม่ให้ไหลเข้าเป็นการลดกระแสไฟฟ้าเกิดเป็นภาวะ inhibition จากกฎข้อที่สองของ Ewald กล่าวว่า ความแรงที่เกิดจาก excitation จะมีมากกว่าแรงที่เกิดจาก inhibition กล่าวคือ ในสภาพปกติ baseline firing rate จะอยู่ที่ 50-100 spikes/sec. การเกิด excitation อาจเพิ่มได้ถึง 400 spikes/sec.

แต่หากเป็น inhibition firing rate ลดได้เพียง 0 spikes/sec. สำหรับ horizontal SCC การเรียงตัวของ hair cell จะมี kinocilium อยู่ด้านในซึ่งการเคลื่อนที่ของ endolymph เข้าสู่ cupula จะเป็นการกระตุ้นให้เกิดภาวะ depolarization ส่วน vertical canal การเรียงตัวของ hair cell เป็นอีกแบบมี kinocilium กลับอยู่ด้านนอก ดังนั้น การเคลื่อนที่ของ endolymph เคลื่อนออกจาก cupula จึงเป็นการกระตุ้น

รีเฟล็กซ์ ระหว่างตากับการทรงตัว (Vestibulo-Ocular Reflex, VOR) เป็นระบบที่คอยควบคุมภาพที่ปรากฏบนจอประสาทตา (retina) ให้มีเสถียรภาพขณะที่ศีรษะเคลื่อนไหว ในการหันศีรษะไปด้านข้างอย่างรวดเร็วเกิดจาก rotational VOR โดยเริ่มจาก hair cell ของ SCC ส่งสัญญาณผ่าน afferent fiber ไปที่ interneuron ใน vestibular nuclei แล้วทำการส่งผ่านไปยัง oculomotor neuron ก่อนไปควบคุมกล้ามเนื้อของลูกตา (extraocular muscles) ทำการควบคุมการเคลื่อนไหวของลูกตาจะเป็นตามแนวระนาบของแต่ละ SCC ตามกฎข้อที่หนึ่งของ Ewald การหันหน้าหมุนไปซ้ายขวาเป็นหน้าที่ horizontal SCC ทั้ง 2 ข้างควบคุมการกรอกลูกตาไปในแนวราบ การก้มเงยศีรษะในแนวทแยงด้านข้าง 45 องศา เป็นหน้าที่ของ superior SCC ด้านนั้นร่วมกับ posterior SCC ของด้านตรงกันข้ามทำการควบคุมการกรอกลูกตาขึ้นลงในแนวทแยงของด้านที่หันนั้น

**หลักการวินิจฉัยโรคของระบบประสาทที่ควบคุมการทรงตัวด้วย ATTEST (3, 4) มีรายละเอียดดังนี้**

A-Associated symptoms, signs, or basic testing

ข้อมูลจากการซักประวัติ อาการ ตรวจร่างกายเน้นการตรวจทางประสาทวิทยา การตรวจปฏิบัติพื้นฐาน (basic testing) เช่น finger-stick glucose, pregnancy test, urinalysis, ECG

### T-Timing

คำนึงถึง 1. รูปแบบของอาการที่เกิดขึ้น (episode) แบ่งเป็น acute, intermittent (episodic), chronic 2. ระยะเวลาที่มีอาการ (duration) เป็นวินาที นาที ชั่วโมง วัน หรือตลอดเวลา

### T-Triggers

ปัจจัยหรือตัวกระตุ้นที่ก่อให้เกิดอาการ ได้แก่ การเปลี่ยนท่าทาง (position changing) ท่าทางที่ก่ออาการ (positional) การเบ่ง (Valsava) เสียงดัง (Tullio phenomenon) อาหาร ยา อารมณ์

### ES-Exam Signs

การตรวจ Nystagmus หรือ Oculomotor testing ลักษณะปรากฏจำแนกรอยโรคแสดงในตารางที่ 1

### T-Testing

การตรวจด้วยอุปกรณ์ หรือเครื่องมือเพิ่มเติม รวมการตรวจระบบการทรงตัว ตรวจการได้ยิน ตรวจระบบหัวใจหลอดเลือด การวินิจฉัยภาพทางการแพทย์

### วัตถุประสงค์เบื้องต้นในการตรวจ diagnostic testing

การตรวจที่จำเพาะกับระบบ vestibular ใช้การตรวจ Nystagmus หรือตรวจดูตากระตุก เป็นการเคลื่อนไหวของตาไปมาอย่างรวดเร็วมีระยะเคลื่อนเร็วและระยะเคลื่อนช้า เช่น การหันหน้าไป

ด้านขวา เป็นการกระตุ้น hair cell ใน horizontal SCC ด้านขวา ผลทำให้เกิดตากระตุกไปด้านขวา อาการตากระตุกยังเกิดได้จากความผิดปกติของการกระตุ้น VOR รอยโรคที่เกิดจากความผิดปกติในระบบการควบคุมการทรงตัวส่วนปลายหรือส่วนกลางจะแสดงออกในรูปแบบการกระตุกที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

นอกจากนี้ ยังมีการตรวจหาความผิดปกติในการควบคุมการทรงตัว โดยปกติร่างกายสามารถให้ทรงตัวเองได้อย่างสมดุล โดยการประสานข้อมูลจาก 3 ส่วน คือ ระบบควบคุมการทรงตัว (vestibular) การมองเห็น (visual) และการตอบรับความรู้สึกควบคุมการทรงตัวจากข้อ (proprioception) ความผิดปกติที่เกิดจากส่วนใดส่วนหนึ่งจะทำให้การทรงตัวไม่สมดุล จากนั้นร่างกายจะมีการปรับตัวเพื่อช่วยรักษาสมดุลให้ดีขึ้นเหมือนเดิม ลำดับแรกเป็นการปรับตัวเชิงสรีระ คือ ระบบประสาทส่วนกลางจะปรับลดการเคลื่อนไหวของลูกตาและ VOR ลด spontaneous nystagmus ให้น้อยลง ความสามารถปรับตัวชนิดนี้ขึ้นกับอายุ ผู้สูงอายุจะปรับตัวได้ช้าและน้อยกว่าผู้มีอายุน้อย ลำดับที่สองเป็นการปรับตัวเชิงการทำงาน เกี่ยวข้องกับการปรับตัวของระบบรับความรู้สึกในข้อที่ควบคุมสมดุลการทรงตัวของร่างกาย หากยังปรับตัวไม่ได้ผู้ป่วยจะมีอาการรักษาสมดุลไม่ได้ มีอาการยืนหรือเดินเซ

**ตารางที่ 1** ลักษณะปรากฏจำแนกรอยโรคที่พบจาก Nystagmus หรือ Oculomotor testing

Characteristics of Nystagmus/Oculomotor Abnormalities in Peripheral Vestibular vs Central Pathology			
Feature	Acute Unilateral Peripheral Loss	Bilateral Peripheral Loss	Central
Direction	Horizontal, torsional	None expected	Vertical or pure torsional
Fixation suppression	Yes	Yes	No
Slow phase	Constant	No nystagmus	Constant
Smooth pursuit	Normal	Normal	Usually saccadic
Saccades	Normal	Normal	Often dysmetric
Gaze test	Unidirection	Unidirection or reduced	Direction change
Alexander's law	Present	Present	Not present
Halmagyi's test	Ipsilateral saccade	Bilateral saccade	No saccade
Optokinetics	Symmetry ( $\leq 25\%$ difference)	Symmetry	Asymmetry
Caloric tests	Unilateral loss	Bilateral loss	Intact/reverse direction
CNS symptoms	Absent	Absent	Often present
Symptoms	Severe motion aggravated vertigo	Oscillopsia/imbalance/gait ataxia, not vertigo	Vertigo not severe as acute unilateral loss

**Caloric studies**

การตรวจนี้ใช้การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิที่แตกต่างจากร่างกายไปกระตุ้น VOR จะส่งผลโดยตรงต่อ horizontal semicircular canal ความร้อนทำให้น้ำ endolymph เบาหรือความถ่วงจำเพาะลดลงจึงลอยตัวไปกระทบ cupula เป็น ampullopetal เกิดการสนองตอบแบบกระตุ้น (excitation) ซึ่งเสมือนหันศีรษะไปทางด้านนั้น เกิด nystagmus กระตุกไปด้านนั้น ในทางกลับกัน หากใช้ความเย็นกลับจะทำให้ น้ำ endolymph มีน้ำหนักหรือความถ่วงจำเพาะสูงขึ้นจึงเคลื่อนต่ำหนีออกจาก cupula เป็น ampullofugal เกิดการสนองตอบแบบยับยั้ง (inhibitory) เสมือนหันศีรษะไปทางหูด้านตรงข้าม nystagmus กระตุกไปด้านตรงข้าม

เพื่อช่วยความจำนิยมท่องว่า COWS คือ Cold Opposite, Warm Same ตามทิศ quick phase ของ nystagmus ที่ปรากฏไปทางด้านใด อนึ่งการกระตุ้น VOR ด้วยความร้อนความเย็นนี้เป็นการกระตุ้นด้วยความถี่ที่ต่ำมากเพียง 0.003 Hz. ดังนั้นจึงไม่สอดคล้องกับการเคลื่อนศีรษะที่เกิดขึ้นจริงในชีวิตประจำวัน อย่างไรก็ตามก็ตีจุดแข็งของวิธีนี้คือ เป็นเพียงการตรวจเดียวที่กระตุ้นหูเพียงด้านเดียว โดยไม่มีผลจากหูด้านตรงข้ามมารบกวน

วิธีการตรวจให้ผู้ป่วยนอนราบ<sup>5</sup> หนุนศีรษะด้วยหมอนเอียงขึ้น 30 องศา ติดขั้วไฟฟ้า electrode สำหรับ ENG หรือสวมแว่นกรณีใช้ VNG ให้เรียบร้อย การตรวจด้วยการใช้น้ำกระตุ้นแบบ open-loop ใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 44 และน้ำเย็น 30 องศาเซลเซียส

ด้วยปริมาณ 250 มิลลิลิตรในเวลา 30 วินาที หากกระตุ้นด้วยการใช้ลม (air caloric) ต้องใช้อากาศร้อน 50 และอากาศเย็น 24 องศาเซลเซียสด้วยปริมาตร 8 ลิตร ในเวลา 60 วินาที การวิเคราะห์ผล จะใช้จุดสูงสุดของความเร็วของตากระตุกขณะเคลื่อนตัวซ้ำ

$$UW\% = \frac{\text{Right ear response} - \text{Left ear response}}{\text{Total of all response}} \times 100$$

$$= \frac{(RW + RC) - (LW + LC)}{(RW + RC + LW + LC)} \times 100$$

การแปลผลให้ถือค่า  $UW \geq 25\%$  กรณีพบผลรวมจากการกระตุ้นทั้ง 4 ที่รวมแล้วได้น้อยกว่า  $22^\circ/s$  ให้แปลว่ามีความผิดปกติของ vestibular ทั้งสองด้าน (Bilateral weakness) และควรตรวจเพิ่มเติมด้วย rotatory test หรือ vHIT ต่อไป

Directional preponderance เป็นเหตุการณ์ที่พบตากระตุกเด่นชัดไปทิศทางเดียว

$$DP\% = \frac{\text{Right beating response} - \text{Left beating response}}{\text{Total of all response}} \times 100$$

$$= \frac{(RW + LC) - (LW + RC)}{(RW + RC + LW + LC)} \times 100$$

Fixation suppression เป็นการพบตากระตุกลดลงเมื่อให้อ้างมองแสงหรือวัตถุ ในการตรวจ caloric จะทำในช่วงที่เลย peak velocity บอกให้ผู้ป่วยเปิดตาอ้างมองแสงแล้ววัด slow phase nystagmus เทียบกับก่อนเปิดตา เรียกค่านี้ว่า fixation suppression index กล่าวคือ หากค่านี้เท่ากับศูนย์แปลว่า การเปิดตาสามารถลดตากระตุกได้สมบูรณ์ ความสำคัญค่านี้ให้ถือว่าหากสูงกว่า  $60\%$  คือพบตากระตุกขณะเปิดตามากกว่าร้อยละ 60 ขึ้นไปเมื่อเทียบกับตอนปิดตา แสดงว่าการเปิดตาไม่สามารถลดการกระตุกได้มากพอจึงควรสืบหารอยโรคที่ส่วนกลาง (central pathology) ต่อไป

รูปแบบความผิดปกติของ Caloric แบบอื่นๆ ที่เกิดจากรอยโรคที่ส่วนกลาง ได้แก่

(peak slow phase velocity) ที่ได้จากการกระตุ้นทั้ง 4 ครั้งมาคำนวณด้วยสูตรของ Jongkees ทาด้านที่ผลรวมการกระตุ้นด้วยความร้อนความเย็นที่น้อยกว่าอีกด้าน (Unilateral weakness) ดังนี้

กำหนดความสำคัญเมื่อพบค่ามากกว่า  $25\%$  สาเหตุอาจเกิดจากผลของ spontaneous nystagmus เช่น เกิดจากรอยโรคระยะแรก labyrinth และ vestibular nerve โดยจะพบ DP ไปทิศตรงข้ามหรือพบเป็นแบบ latent spontaneous nystagmus แต่ส่วนใหญ่ไม่สามารถใช้ DP ช่วยในการวินิจฉัยโรคได้มากนัก การคำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

hyperactive response, dysrhythmia, perverted nystagmus และ disconjugate nystagmus

### Vestibular Evoked Myogenic Potentials

Vestibular Evoked Myogenic Potentials (VEMPs)<sup>6,7</sup> เป็นการตรวจการทำงาน otolith การตรวจ VEMPs มี 2 ชนิดเรียกตามอวัยวะที่ติดขั้ว electrode คือ

oVEMPs (ocularVEMPs) มีลักษณะ crossed, excitatory, ascending, utriculo-ocular response ตรวจโดยติด electrode ที่แก้มใต้ตาวัดการตอบสนองของกล้ามเนื้อลูกตา โดยใช้เสียงจาก bone conduction vibration ที่วางกลาง

หน้าผากชิดขอบโคนผม เมื่อส่ง bone conduction vibration tone burst 500 Hz. คลื่นแรกที่พบเกิดจากการกระตุ้น inferior oblique muscle พบเป็น negative ที่ 10 msec. จึงเรียก n10 มี amplitude

5-10  $\mu$ V. การประเมินความผิดปกติ oVEMPs หาค่า Asymmetry ratio คำนวณจาก amplitudes ของคลื่น VEMP ทั้งสองข้างด้วยสูตร

$$\text{Asymmetry ratio (AR)} = \frac{(\text{Right VEMP}) - (\text{Left VEMP})}{(\text{Right VEMP} + \text{Left VEMP})} \times 100$$

AR = 100% ถือว่า total asymmetry Curthoys (7) กำหนด AR ของ oVEMP < 40% ถือว่าปกติ และ AR  $\geq$  40% ผิดปกติ

cVEMPs (cervical VEMPs) มีลักษณะเป็น uncrossed, descending, inhibitory, sacculo-collic response ติด electrode ที่คอแล้วดูการตอบสนองของกล้ามเนื้อ sternocleidomastoid ใช้เสียง air conduction sound ส่งผ่านหูด้วยสัญญาณเสียง 500 Hz. tone-burst ดัง 90 ถึง 100 dB nHL จำนวนชุดคลื่นเสียงใช้ตั้งแต่ 64 ถึง 256 ชุด ปล่อยซ้ำๆ จนสามารถหารูปคลื่นที่คงที่มากที่สุด รูปคลื่น cVEMPs มีลักษณะเป็น biphasic ประกอบด้วย คลื่นบวก p13 ตามด้วยคลื่นลบ n23 ซึ่งจะถูกกำหนดเป็น P1 และ N1 ค่าเฉลี่ยที่ตรวจได้เมื่อใช้เสียงความเข้ม (intensity) 100 dB nHL จะปรากฏ P1 latency ที่ 13 msec. (11.33 $\pm$ 0.82), N1 latency ที่ 23 msec. (18.24 $\pm$ 1.33) (8) amplitude ของรูปคลื่น อาจจะสูงต่ำแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล อาจพบความแตกต่างกันในแต่ละข้างได้แต่ต้องไม่เกินร้อยละ 40 (ช่วงร้อยละ 34-43) ผู้สูงอายุจะมีค่าลดต่ำลง จึงไม่นิยมตรวจผู้มีอายุมากกว่า 60 ปี โดยทั่วไป

cVEMPs ในคนปกติจะมี threshold ในช่วง 75 ถึง 100 dB nHL ผลตรวจ cVEMPs ที่ผิดปกติมีได้หลายลักษณะ เช่น amplitude น้อยกว่าด้านที่ปกติ หรือไม่พบการตอบสนอง (absence) แต่ในผู้ป่วย superior semicircular canal dehiscence อาจพบรูปคลื่นที่เสียงความเข้มต่ำ (low thresholds) หรือ amplitude มากกว่าด้านปกติ ผลการตรวจผิดปกติอาจเกิดรอยโรคได้ตั้งแต่ saccule, inferior vestibular nerve, vestibular nucleus, medial vestibulospinal tract จนถึง ocular muscle หรือ sternocleidomastoid muscle

cVEMPs สามารถใช้ประกอบการวินิจฉัยโรคได้ตามตารางที่ 2 และยังสามารถใช้ประเมินการทำงานของ saccule หลังฉีด intratympanic gentamicin เพื่อรักษาอาการของ Meniere's disease หลังฉีด 1-4 สัปดาห์จะพบ amplitudes ลดลงตามลำดับ<sup>9</sup> ช่วยยืนยันผลแสดงถึงผลการทำงาน

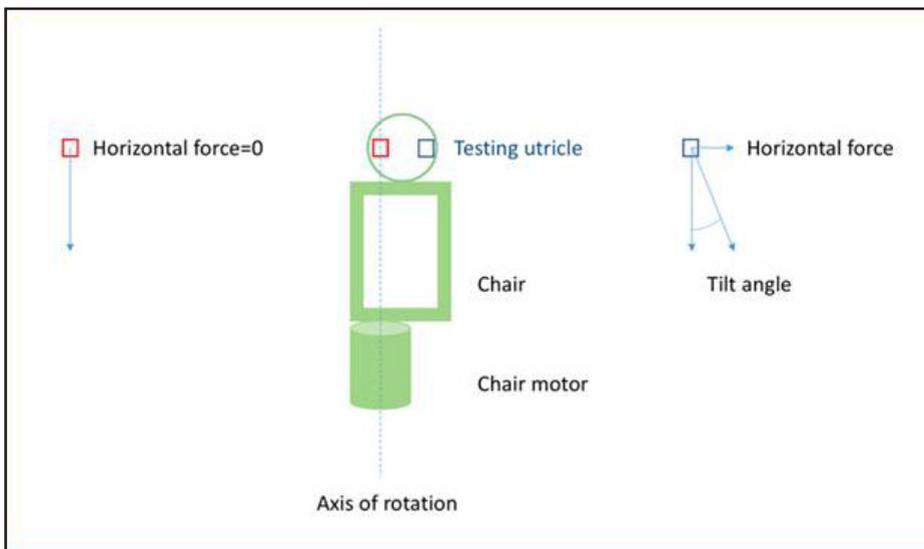
**ตารางที่ 2** แสดงโรคกับลักษณะปรากฏในการตรวจด้วย cVEMPs<sup>10</sup>

Disorders	cVEMPs findings
Meniere's disease	Larger amplitudes or Smaller amplitudes or absent
Superior canal dehiscence	Larger amplitudes and low thresholds (less than 75 dB nHL)
Vestibular neuronitis (inferior)	Small amplitudes or absent
Acoustic neuromas	Delay, Small amplitudes or absent
BPPV	Normal
Meningiomas	Normal

## Subjective Visual Vertical

Subjective Visual Vertical (SVV)<sup>11</sup> เป็นการตรวจการทำงานของ utricle โดยเทียบการรับรู้ในแนวดิ่ง การตรวจแบบ Static SVV ทำขณะผู้ป่วยอยู่ในสภาพนิ่งๆ (stationary) จัดให้ผู้ป่วยนั่งหันหน้ามองไปที่เส้นสีขาวในแนวดิ่ง (vertical) บนพื้นที่มีดสนิทโดยรอบแล้วให้ผู้ป่วยทำการปรับเอียงเส้นนั้นให้อยู่ในแนวดิ่งตามที่ผู้ป่วยเห็น คนที่ปกติจะสามารถปรับเส้นแนวดิ่งได้ตรงหรือเอียงไม่เกิน 2 องศา หากเอียง 10 ถึง 15 องศาอาจบ่งถึงรอยโรคที่เกิดแบบฉับพลันของ otolith<sup>12,13</sup> รายงานพบ static SVV ผิดปกติใน acute Meniere's attacks 63.6% ต่อมา<sup>14</sup> รายงานพบ static SVV ผิดปกติใน vestibular neuritis 69.4% และ Sudden sensorineural hearing loss 26.3% โดยจะพบความผิดปกติมากในช่วงแรกไม่เกิน 4 สัปดาห์แต่เมื่อติดตามไปก็จะค่อยๆ กลับมาเป็นปกติ<sup>15</sup> สำหรับรอยโรคที่เกิด brainstem infarction บริเวณ lower

brainstem SVV จะเอียงไปด้านผิปกตินั้น ส่วนรอยโรคบริเวณ upper brainstem จะเอียงไปด้านตรงข้าม นอกจากนี้ ตาข้างที่เป็นโรคก็จะเอียงแบบ excyclotorsion มากกว่าตาอีกข้างที่เอียงแบบ incyclotorsion<sup>6</sup> การตรวจในขณะที่หมุน (rotation, dynamic) ไปรอบแกนตั้ง (on axis) ศูนย์กลางอยู่กลางศีรษะด้วยความเร็วคงที่จะไปกระตุ้นอวัยวะ otolith ทั้งสองข้างทำให้ผลการตรวจมีความไวเพิ่มขึ้น แต่หากพบผิปกติยังไม่อาจสรุปว่า utricle ด้านใดด้านหนึ่งทำงานน้อยลงหรือเพิ่มขึ้นได้ การตรวจหมุน (rotation) แบบ off-axis (รูปที่ 1) จะกระตุ้นเฉพาะ utricle ด้านที่ตรวจด้วย gravity inertial acceleration (GIA) force แสดงให้เห็น SVV เอียงไปด้านตรงข้ามของข้างที่หมุน off-axis แสดงดังรูปที่ 1 การแปลผลจะคำนวณเปรียบเทียบกับด้านใดที่ถูกกระตุ้นแล้วให้ผลเอียงไปด้านตรงข้ามน้อยกว่าจะหมายถึง utricle ด้านนั้นทำงานน้อยกว่า



รูปที่ 1 แสดง off-axis rotation กระตุ้น Left utricle (สีเข้ม) ด้วยการตั้งศูนย์กลางจุดหมุนอยู่ที่ Right utricle (สีอ่อน)

## Postural control studies

มีความสำคัญในการประเมินความสามารถในการทรงตัวที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลของระบบประสาท ทั้งส่วนรับรู้สัมผัสและการตอบสนองของกล้ามเนื้อ ประโยชน์ในการตรวจก็เพื่อทดสอบว่าระบบใด มีความผิดปกติ การติดตามดูการฟื้นคืนสภาพ รวมถึง ติดตามผลการฝึกกายภาพบำบัด ทัวไปวิธีการ ตรวจการทรงตัวนิยมใช้ Romberg และ Fukuda stepping test ส่วนการตรวจบันทึกด้วยเครื่องมือ ใช้ Clinical Test for Sensory Interaction and Balance (CTSIB) หรือ Computerized dynamic posturography (CDP) การควบคุมการทรงตัว ในท่ายืนตรง ร่างกายอาศัยการประสานงานของ vestibulo-ocular reflex, vestibulo-spinal reflex และการเคลื่อนไหวของข้อสะโพก ข้อเข่า และ ข้อเท้า จะใช้ข้อมูลจุดศูนย์กลางน้ำหนักหรือ Center of gravity (COG) เป็นแรงที่กดลงบนพื้นที่ยืน หากจุด COG เคลื่อนออกไปมากเกินกว่าการควบคุม การทรงตัวของร่างกายที่เรียกว่า limits of stability ก็จะเกิดการล้มขึ้นได้

Sensory Organizational Test (SOT) (1) เป็นการประเมินความสามารถในการควบคุมการ ทรงตัวในท่ายืนโดยอาศัยข้อมูลจากระบบ visual, somatosensory และ vestibular โดยใช้ CDP ทำการตรวจทั้งหมด 6 conditions ดังนี้

Condition 1 ยืนและเปิดตา บนพื้นปกติ (fixed floor)

Condition 2 ยืนและปิดตา บนพื้นปกติ

Condition 3 ยืน เปิดตา ภาพสิ่งแวดล้อม เอียงตามการเอียงของร่างกาย (sway visual surround) บนพื้นปกติ

Condition 4 ยืน เปิดตา ภาพสิ่งแวดล้อม นิ่งกับที่ บนพื้นเอียงไปมาหน้าหลัง (sway referenced floor)

Condition 5 ยืน ปิดตา บนพื้นเอียงไปมา หน้าหลัง

Condition 6 ยืน เปิดตา ภาพสิ่งแวดล้อม เอียงตามการเอียงของร่างกาย บนพื้นเอียงไปมาหน้าหลัง

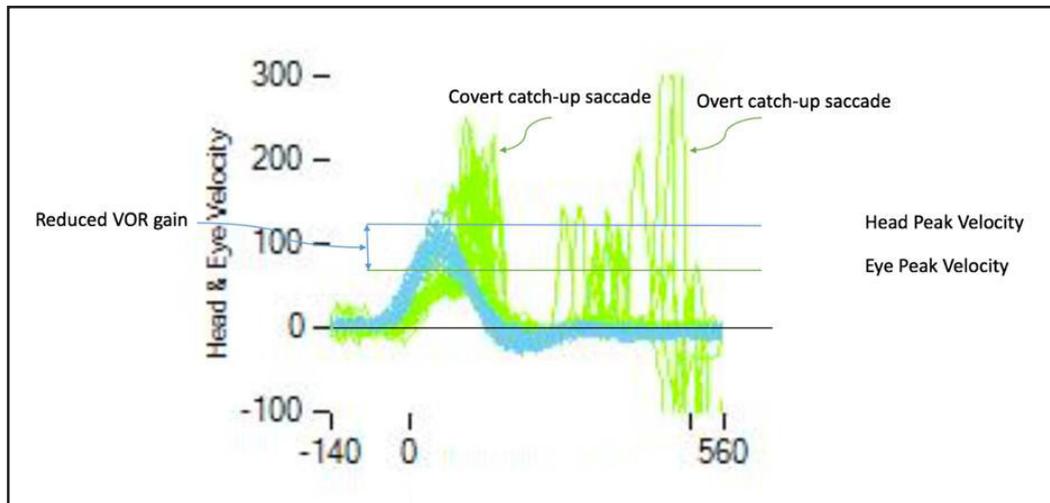
การแปลผล Vestibular pattern พบ ความผิดปกติที่ condition 5 และ 6 Visual preference พบความผิดปกติที่ condition 3 และ 6 Visual pattern พบความผิดปกติที่ condition 4 Somatosensory pattern พบความผิดปกติ ที่ condition 2 เมื่อเปรียบกับ condition 1 Severe pattern พบความผิดปกติทุก condition inconsistent pattern (aphysiologic) นอกจากนี้ การตรวจพบความผิดปกติที่เกิดจากการจ้องใจแก่ล้ง หรือจากความกลัว อาจแสดงผลในรูปแบบที่ไม่เข้ากับแบบใด เช่น เอียงไปด้านข้างขณะยืนบนพื้นเอียง ไปมาหน้าหลัง หรือยืนใน condition ที่ยากๆ ได้ดี มากกว่าที่ง่าย

## Head impulse testing

Head impulse testing (HIT) หรือ Halmagyi's test<sup>11</sup> เป็นการตรวจการทำงาน VOR ของ Semicircular canal คู่ขนานกันที่ตอบสนองต่อการเคลื่อนไหวเชิงมุม (angular acceleration) ใน 3 แนวระนาบ คือ ระนาบแนวราบหันซ้ายขวา รอบ แกน Z ระนาบซ้ายหน้า-ขวาหลัง (LARP) ก้มหน้า ขึ้นลงเมื่อหันให้ตาซ้ายอยู่หน้า ระนาบขวา หน้า-ซ้ายหลัง (RALP) ก้มหน้าขึ้นลงเมื่อหันให้ ตาขวาอยู่หน้า หมายเหตุ L = left, R = right, A = anterior, P = posterior วิธีการตรวจ HIT แนว ระนาบกระทำโดยการพลิกศีรษะหันไปซ้ายหรือขวา ตามแนวระนาบอย่างรวดเร็ว 50-200°/s และด้วยความเร่งสูง 2,000-4,000°/s<sup>2</sup> ในขณะที่ให้ผู้ป่วยนั่ง เพ่งมองเป้าหมายตลอดเวลา ผลการตรวจ video HIT (vHIT) โดยใช้กล้อง video จับการเคลื่อนไหว จะให้ข้อมูลแสดง 2 เส้น คือเส้นความเร็วของ ศีรษะ (สีดำ) กับ ความเร็วของตา (สีแดง) ตามรูป ที่ 7 ในรายที่มีความผิดปกติจะพบว่าตาเคลื่อนช้า กว่าศีรษะ ระยะห่างที่เกิดเรียกว่า VOR gain คน

ปกติมี horizontal canal gain = 1.0, anterior - posterior canal gain 0.9 ค่า gain ยิ่งต่ำแสดงถึง VOR ยิ่งผิดปกติมาก Curthoys<sup>7</sup> ตัดสินผิดปกติที่ gain < 0.7 Zellhuber S. รายงานศึกษาผู้ป่วย Acute unilateral vestibular neuritis 19 ราย<sup>16</sup> พบ gain asymmetry (GA) mean = 34.9% SD = 23.6, (range 2-98), GA = (gain R - gain L) \*100/ (gain R + gain L) ความผิดปกติที่ชัดเจนอีกเรื่องหนึ่งในผู้ป่วยที่มีรอยโรคของ peripheral vestibular เมื่อตรวจ HIT คือ การเคลื่อนที่ของตามายังเป้าหมาย

ช้ากว่าปกติ เรียกว่า Catch-up saccade จำแนกออกเป็น 2 แบบ คือ ช่วงหลังคลื่นตาเคลื่อน เรียกว่า Overt catch-up saccade (OCS) และช่วงเวลาเดียวกับคลื่นตาเคลื่อน เรียกว่า Covert catch-up saccade (CCS)<sup>17</sup> ดังแสดงในรูปที่ 2 อย่างไรก็ตาม vHIT ยังจัดเป็น vestibular battery test Bartolomeo และคณะศึกษา<sup>18</sup> เปรียบเทียบกับ caloric study รายงานว่ามี sensitivity 39.5%, specificity 52%



รูปที่ 2 แสดงอธิบายผลการตรวจด้วย vHIT แกน X คือ Velocity (degree/sec) แกน Y คือ เวลา 0 ถึง 560 ms.

ตารางที่ 3 แสดงการตรวจ clinical test เพื่อหารอยโรคที่เกิดขึ้นใน peripheral vestibular system

Summary the clinical test responses to vestibular receptor structures		
Part	Nerve ending structures	Clinical expressions
Superior vestibular nerve	Superior and horizontal SCC	Spontaneous nystagmus, Caloric test, Horizontal SCC HIT, Superior SCC HIT
	Utricle	SWV, oVEMPs
Inferior vestibular nerve	Posterior SCC	Slight spontaneous nystagmus, Posterior HIT
	Sacculle	cVEMPs

## สรุปผล

ประโยชน์ของการตรวจประเมินระบบควบคุมการทรงตัว (ตารางที่ 3) เพื่อเป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ ประกอบด้วย 1) ช่วยยืนยันการวินิจฉัยโรคตำแหน่งรอยโรค ในบางราย 2) ประเมินระดับความรุนแรงของโรค 3) ใช้ติดตามการรักษา อาการหูเลาหรือกลับมาเป็นซ้ำ 4) พิสัจจนการแกล้งป่วย 5) ใช้ติดตามระดับการทำลายประสาทการทรงตัวภายหลังให้ยาเพื่อการรักษาอาการ อย่างไรก็ตาม การประเมินมีข้อจำกัดมากขึ้น หากโรคดำเนินไประยะหนึ่งเนื่องจากจะเกิด adaptation และ compensation ของระบบการทรงตัว รวมถึงการเปลี่ยนแปลงในการตอบรับสัญญาณประสาทจาก somatosensory, visual และ proprioception

## References

1. Jacobson GP, Newman CW, Kartush JM, editors. Handbook of Balance function testing. San Diego: Singular Publishing Group Inc; 1997.
2. Baloh RW, Kerber KA. Clinical Neurophysiology of the Vestibular System. 4th ed: Oxford University Press, USA; 2011.
3. Edlow JA. A New Approach to the Diagnosis of Acute Dizziness in Adult Patients. *Emerg Med Clin North Am* 2016;34(4):717-42.
4. Kerber KA, Baloh RW. Dizziness and vertigo presentations in the emergency department. In: Roos KL, editor. *Emergency neurology*. New York: Springer; 2012. p. 71-84.
5. Barin K. Background and technique of caloric testing. In: Jacobson GP, Shepard NT, editors. *Balance function assessment and management*. 2nd ed. San Diego: Plural Publishing; 2016. p. 283-317.
6. Halmagyi GM, Curthoys IS. Otolith function tests. In: Herdman SJ, Clendaniel RA, editors. *Vestibular Rehabilitation*. 4th ed. Philadelphia: F. A. Davis Company; 2014. p. 195-226.
7. Curthoys IS. The interpretation of clinical tests of peripheral vestibular function. *Laryngoscope*. 2012;122(6):1342-52.
8. Hain TC. Vestibular Evoked Myogenic Potential Testing Cervical. 2017 [8 oct 2017: Available from: <https://www.dizziness-and-balance.com/testing/vemp.html>.
9. Walther LE, Huelse R, Blättner K, et al. Dynamic Change of VOR and Otolith Function in Intratympanic Gentamicin Treatment for Ménière's Disease: Case Report and Review of the Literature. *Case Reports in Otolaryngology*. 2013:1-5.
10. Hullar TE, Zee DS, Minor LB. Evaluation of the patient with dizziness. In: Flint PW, Haughey BH, Lund VJ, Niparko JK, Robbins KT, Lesperance MM, editors. *Cummings otolaryngology head & neck surgery*. 6th ed. Philadelphia: Elsevier Mosby; 2015. p. 2525-47.
11. Eggers SDZ, Zee DS. Vertigo and imbalance : clinical neurophysiology of the vestibular system. volume 9. Amsterdam: Elsevier; 2010.
12. Kingma H. Function tests of the otolith or statolith system. *Curr Opin Neurol* 2006;19(1):21-5.

13. Kumagami H, Sainoo Y, Fujiyama D, et al. Subjective visual vertical in acute attacks of Meniere's disease. *Otol Neurotol* 2009;30(2):206-9.
14. Ogawa Y, Otsuka K, Shimizu S, et al. Subjective visual vertical perception in patients with vestibular neuritis and sudden sensorineural hearing loss. *J Vestib Res* 2012;22(4):205-11.
15. Bronstein AM. Tests of otolith function and vestibular perception. In: Jacobson GP, Shepard NT, editors. *Balance function assessment and management*. 2nd ed. San Diego: Plural Publishing Inc.; 2016.
16. Zellhuber S, Mahringer A, Rambold H. Relation of video-head-impulse test and caloric irrigation: a study on the recovery in unilateral vestibular neuritis. *Eur Arch otorhinolaryngol* 2014;271(9):2375-83.
17. Mantokoudis G, Saber Tehrani AS, Kattah JC, et al. Quantifying the Vestibulo-Ocular Reflex with Video-Oculography: Nature and Frequency of Artifacts. *Audiol Neurootol* 2015;20(1):39-50.
18. Bartolomeo M, Biboulet R, Pierre G, et al. Value of the video head impulse test in assessing vestibular deficits following vestibular neuritis. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2014;271(4):681-8.