

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE MEDICINA
Escuela de Tecnología Médica



TESIS PROFESIONAL

*Para optar al título profesional de Tecnólogo Médico
con mención en Otorrinolaringología*

“FUNCIONES VESTIBULARES SUPERIORES Y SU EVALUACIÓN”

Alumna: Josett Valdivia Leyton

Tutores: José Bahamondes Lira y Manuel Valdés Campos

Firma 1

Firma 2

Fecha: 22 de julio, 2022

ACTA CURSO TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La **Srta. Josett Andrea Valdivia Leyton**, estudiante de Tecnología Médica con Mención en Otorrinolaringología, cumpliendo con los requisitos establecidos en el plan de estudio, realizó durante el noveno semestre de la carrera, la Tesis Profesional titulada: **“funciones Vestibulares superiores y su evaluación”**, dirigida por **T.M. José Bahamondes Lira** y **T.M. Manuel Valdez Campos**, ambos tecnólogos médicos funcionarios del servicio de Otorrinolaringología del Hospital San José

La Escuela de Tecnología Médica designó para su corrección una Comisión integrada **T.M. Antonieta Ávila Meza**, tecnóloga médica, funcionaria de la Clínica UC San Carlos de Apoquindo, Departamento de Otorrinolaringología RED SALUD UC CHRISTUS y **T.M. Viviana Almasio Valdebenito**, tecnóloga médica, funcionaria de unidad de Otoneurología del Instituto de Neurocirugía Dr. Asenjo.

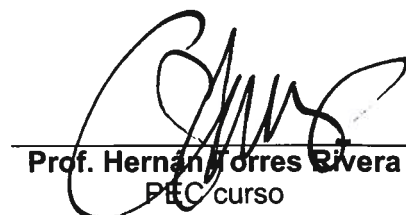
La calificación obtenida se detalla a continuación:

Corrector 1 Antonieta Ávila Meza	6.71	25%
Corrector 2 Viviana Almasio Valdebenito	6.10	25%
Tutor(es) Guía:		
Evaluación intermedia	7.00	25%
Nota final tutor	7.00	25%
Nota final tesis profesional	6.70	

En consecuencia el estudiante **Josett Andrea Valdivia Leyton** aprueba satisfactoriamente la asignatura.



Prof. Enzo Aguillar Vidal
Coordinador(a) curso
Trabajo de Investigación



Prof. Hernán Torres Rivera
PEC curso
Trabajo de Investigación

Dedicatoria:

Deseo dedicar este trabajo a toda mi familia, mi gran familia, quienes de algún u otro modo me han inspirado y enriquecido desde muy pequeña. En especial, a mis padres y hermana que me han apoyado incondicionalmente durante estos complejos años. A mi papá, por su enorme esfuerzo y sacrificio para mantenerme en la Universidad, enseñando una resiliencia admirable. A mi mamá, que siempre ha estado a una llamada de distancia para llorar y reír conmigo. También deseo mencionar con mucha gratitud y cariño a mis tíos, Jacqueline y Pablo, quienes me abrieron las puertas de su hogar y me incluyeron en su familia cuando más lo necesitaba. Finalmente, a mis amigos, las grandes personas con las que me cruce y me enseñaron lo que es la amistad en sus diversos contextos. Dios los presento en mi camino en los momentos oportunos.

Agradecimientos:

A mis tutores, José Bahamondes y Manuel Valdés, quienes han sido parte importantísima de este arduo proceso, tanto de mi tesis como práctica profesional. Agradezco muchísimo que siempre tuvieran la paciencia, las palabras adecuadas para inspirarme y, a su vez, proporcionaran distintas perspectivas y conocimiento a este trabajo. Gracias por enseñarme tanto, sin ustedes, sin sus aportes profesionales, sin sus sabias palabras, esta etapa no sería lo mismo.

Índice

Tabla de abreviaturas	6
Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
Cuerpo de revisión	
Aparato vestibular periférico	10
Células ciliadas vestibulares	11
Canales y conductos semicirculares	12
Mácula utricular y sacular	14
Aferencias primarias vestibulares	16
Aparato vestibular central	16
Complejo de núcleos vestibulares	17
Áreas de proyección	18
Cerebelo:	18
Conexiones comisurales:	19
Otras conexiones aferentes:	20
Reflejo vestíbulo ocular	20
Reflejo vestíbulo espinal	22
Red vestíbulo-talamocortical	24
Corteza vestibular	29
Funciones superiores y sistema vestibular	34
Trastornos de las funciones vestibulares superiores	40
Heminegligencia espacial (spatial hemineglect)	41
Ilusión de inclinación de la habitación (Room Tilt Illusion)	43
Síndrome del empujador (Pusher Syndrome)	44
Deterioro de la memoria espacial y navegación asociada a la atrofia del hipocampo en una pérdida vestibular bilateral periférica	45
Mareo postural perceptual persistente	45
Epilepsia vestibular	46
Material y Métodos	47
Discusión y conclusión	49
Referencias bibliográficas	54
Anexos	62

Tabla de abreviaturas

Abreviación	Significado
ACE*	Evaluación llamada Adenbrooke's Cognitive Examination
BesTest*	The Balance Evaluation Systems Test
CC	Células ciliadas vestibulares
CSC	Canales semicirculares
EMPAM	Examen de medicina preventiva del adulto mayor
FEF*	Campos oculares frontales
FLM o MLF*	Fascículo longitudinal medial
MMSE*	Mini Mental State Examination
MoCA*	Evaluación cognitiva Montreal o <i>Montreal Cognitive Assessment</i>
MST*	Corteza temporal superior medial
MSTd*	Porción dorsal de MST
MT*	Circunvolución temporal medial
NV	Núcleos vestibulares
PIVC*	Corteza vestibular parietoinsular
r-ACE*	Versión revisada de ACE
r-RVO o tVOR*	Reflejo vestíbulo ocular rotacional
RVE	Reflejo vestíbulo espinal
RVO o VOR*	Reflejo vestíbulo ocular
SVV*	Test visual subjetivo vertical
t-RVO o tVOR*	Reflejo vestíbulo ocular traslacional
TAD o ATD*	Tracto ascendente de Deiters o <i>Ascending tract of Deiters</i>
TUG*	Evaluación llamada " <i>Timed up and go</i> "
VIP*	Área intraparietal ventral
vWMT*	Laberinto acuático de Morris virtual o <i>Morris water maze virtual</i>

(*) Abreviaciones en inglés.

Resumen

El laberinto vestibular es la estructura más antigua del oído interno y, a su vez, la más desconocida. Hasta la fecha, se ha logrado describir fielmente el aparato vestibular periférico y, en parte, los elementos neurales que componen el aparato vestibular central. Sin embargo, el papel del sistema vestibular como centro integrador multisensorial y multimodal, la distribución de la red vestibular cortical en múltiples áreas de la corteza y su implicancia en tareas cognitivas no está del todo claro.

El estudio del sistema vestibular se realiza, a menudo, por medio de una clasificación anatómica dicotómica, pero muchos de los pacientes relatan síntomas perceptivos que no pueden asociarse a patologías periféricas o centrales. Por lo que, se ha adicionado una clasificación funcional para el sistema vestibular, entre ellas, las funciones vestibulares superiores, que se relacionan con funciones cognitivas y otras modalidades sensoriales. Ante este escenario, se realizó una revisión narrativa que permita caracterizar las funciones vestibulares superiores y su evaluación.

“Las funciones vestibulares superiores”, es un término acuñado en analogía a las funciones visuales superiores, e implican la integración de la red vestibular y dominios cognitivos que están mediados principalmente por el hipocampo y lóbulos temporoparietales. Estas funciones son: capacidad visuoespacial, atención, memoria, entre otras. Los trastornos de las funciones vestibulares pueden implicar la disfunción de otras modalidades cognitivas. Pese a que existe poca información, las funciones vestibulares superiores representan un desafío para todos aquellos profesionales en el área de otorrinolaringología.

Palabras clave: *“fisiología vestibular”, “sistema vestibular”, “funciones vestibulares elevadas”, “funciones vestibulares superiores”, “neurofisiología vestibular”, “neurofisiología del sistema vestibular”, “cognición vestibular”, “evaluación de funciones vestibulares superiores”, “cognición vestibular” y “evaluación de funciones vestibulares superiores”.*

Abstract

The vestibular labyrinth is the oldest structure of the inner ear and, in turn, the least known. To date, it has been possible to faithfully describe the peripheral vestibular apparatus and, to some degree, the neural elements that make up the central vestibular apparatus. However, the role of the vestibular system as a multisensory and multimodal integrating center, the distribution of the cortical vestibular network in multiple areas of the cortex and its implication in cognitive tasks are not entirely clear.

The study of the vestibular system is often carried out through a dichotomous anatomical classification, but many patients report perceptual symptoms that cannot be associated with peripheral or central pathologies. Therefore, a functional classification has been added for the vestibular system, including the higher vestibular functions, which are related to cognitive functions and other sensory modalities. Given this scenario, a narrative review was carried out to characterize the superior vestibular functions and their evaluation.

“The higher vestibular functions”, is a term coined in analogy to higher visual functions, and involves the integration of the vestibular network and cognitive domains that are primarily mediated by the hippocampus and temporoparietal lobes. These functions are: visuospatial ability, attention, memory, among others. Disorders of vestibular functions may involve dysfunction of other cognitive modalities. Although little information exists, higher vestibular functions represent a challenge for all those professionals in the area of otorhinolaryngology.

Keywords: *“vestibular physiology”, “vestibular system”, “higher vestibular functions”, “vestibular neurophysiology”, “neurophysiology of the vestibular system”, “vestibular cognition”, “vestibular cognition” and “higher vestibular functions evaluation”*.

Introducción

Si bien se conoce que la función del sistema vestibular parte con la detección tridimensional de las aceleraciones a las que se somete la cabeza, esta información se distribuye por vías neurales que informan al sistema nervioso central sobre la posición y movimientos de la cabeza y cuerpo, a su vez, permite ajustar la actividad muscular y posición del cuerpo por medio de reflejos y, la percepción de movimiento y orientación espacial ^{1,2} . Sin embargo, la función del sistema vestibular no termina sólo al comprender cómo se desencadenan reflejos motores.

Las redes vestíbulo talamocorticales, tanto sus proyecciones como funciones, aún se encuentran en investigación.³ Hasta el momento se conoce que el sistema vestibular cumple un papel fundamental en la cognición y en funciones no vestibulares, al contar con múltiples redes neuronales que le permiten desarrollar interacciones con las distintas áreas corticales. Esta particular interacción y los múltiples entrecruzamientos de la información permite la interpretación de una única percepción global, que es vital para tareas de locomoción, de equilibrio, entre otras ⁴ .

En Chile, el sistema vestibular es estudiado por medio de un examen denominado “estudio funcional de VIII par craneal”, que permite evidenciar el estado de ambos oídos internos y de sus vías de proyección por medio del reflejo vestíbulo ocular y reflejo vestíbulo espinal. Sin embargo, debido a que las vías vestibulares tienen una naturaleza multisensorial es muy difícil determinar la presencia de un desorden perceptual vestibular, para esto hay que comprender cómo el ser humano es capaz de percibir el movimiento, logra tener un mapa de orientación espacial, además de otras funciones superiores.

Por lo expuesto, es importante realizar una revisión bibliográfica acerca de la fisiología vestibular periférica y central, indagando sobre las funciones vestibulares superiores y la forma de poder evaluarlas, apuntando a un eventual uso de este tipo de medición en la población chilena por medio de exámenes accesibles para los servicios de salud.

Aparato vestibular periférico

El aparato vestibular periférico se ubica en la porción petrosa del hueso temporal, denominado laberinto, como muestra la figura 1, orientado en posición lateral y posterior a la cóclea del oído interno. El laberinto vestibular está compuesto por el laberinto membranoso y el laberinto óseo. El primero es un tubo membranoso que contiene a los receptores vestibulares mientras que el laberinto óseo es una envoltura ósea compuesta por cavidades y conductos que se encargan de proteger estos órganos ^{6,7}.

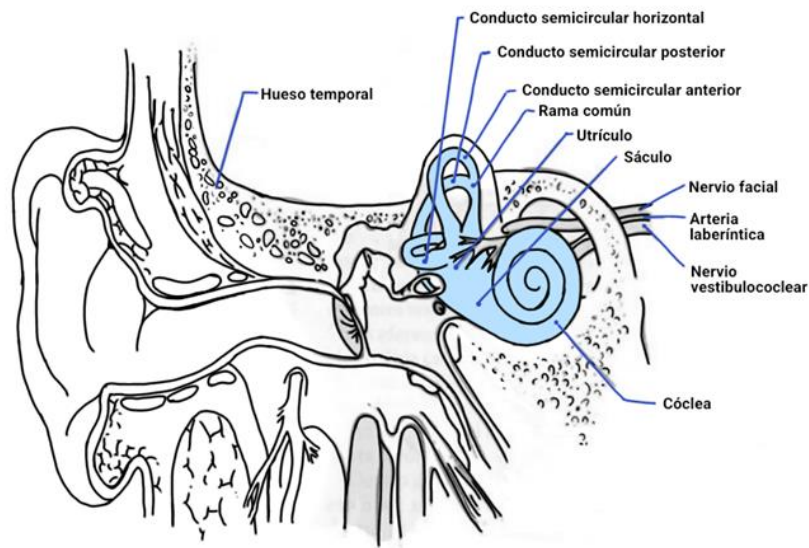


Figura 1. Sección transversal de oído externo, medio e interno. En el oído interno (en color celeste), se puede observar que el aparato vestibular (conductos semicirculares, sáculo y utrículo) está ubicado lateral y posterior a la cóclea. Imagen obtenida y modificada del libro “Principios de neurociencia: aplicaciones básicas y clínicas”⁴.

Dentro del laberinto membranoso encontramos los receptores vestibulares conformados por células especializadas que detectan estímulos tridimensionales (aceleraciones a las que se somete la cabeza) y los amplifican; las células ciliadas que conforman los epitelios neurosensoriales se encuentran adyacentes a la endolinfa y son cinco en total; 3 crestas ampulares y 2 máculas otolíticas, ubicadas en los 3 conductos semicirculares, utrículo y sáculo, respectivamente ^{1,2,6}.

Células ciliadas vestibulares

Las células ciliadas (CC) tipo I y II son la mínima unidad del sistema vestibular que cumplen la función de mecanotransducción, es decir, son capaces de transformar los estímulos mecánicos de movimiento, dados por aceleraciones lineales y angulares a los que se somete la cabeza, en potenciales de acción neuronales que se proyectan por el sistema nervioso central informando sobre la posición y movimientos de la cabeza y cuerpo ^{2,7}.

Estas células, como muestra la figura 2, se caracterizan por tener un haz de estereocilios en la zona apical, que se conforma aproximadamente por 40 a 100 estereocilios dispuestos en filas de igual tamaño y que se encuentran conectados por uniones tip-links, que les permite un movimiento simultáneo en la misma dirección tras el movimiento rotatorio de la cabeza. Cada fila de cilios se organiza de forma creciente de un extremo a otro hasta la última estructura, el cilio más alto y grueso: el kinocilio ^{2,7}.

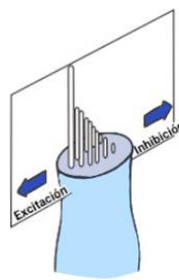
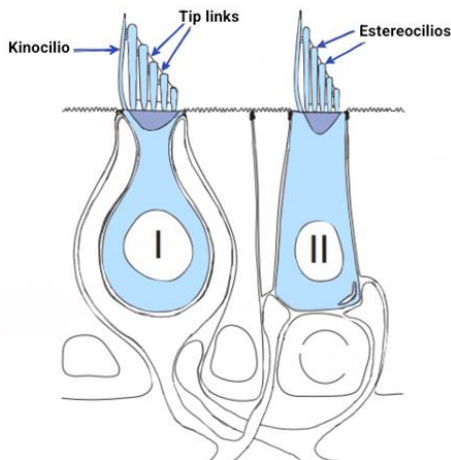


Figura 2. Células ciliadas vestibulares. En (a) células ciliadas tipo I y II tienen en su zona apical un haz de estereocilios donde destaca el kinocilio y las uniones tip links. En (b) se esquematiza la dirección del movimiento del haz de estereocilio, que puede ser a favor o en contra del kinocilio. Imagen obtenida y modificada del libro “Clinical Neurophysiology of the Vestibular System” ².

El movimiento simultáneo de los estereocilios en dirección al kinocilio permite la apertura de los canales mecanosensoriales y el ingreso de una corriente intracelular de cationes (calcio y potasio) desde la endolinfa hacia el interior de las CC. Esto cambia el potencial de membrana a uno menos negativo, despolarizando a la CC y, en consecuencia, activando una cascada de reacciones al interior de la CC ^{2,6,7}.

Esta cascada de reacciones parte con la despolarización, que causa la apertura de canales de calcio dependientes de voltaje; que ingresan calcio al interior de las CC. Consecuentemente, esto permite la liberación de los neurotransmisores (principalmente glutamato) que activan a las fibras nerviosas aferentes, lo que se evidencia como un aumento de su frecuencia de descarga. Por el contrario, el movimiento de los estereocilios contra el kinocilio produce la hiperpolarización y la disminución de la frecuencia de descarga ^{2,6,7}.

Cuando el estímulo cesa, los estereocilios vuelven a su actividad de reposo, lo que corresponde a una actividad espontánea continua dada por una pequeña cantidad de canales mecanosensoriales que permanecen abiertos en las CC. La tasa de disparo espontánea varía entre animales y receptores sensoriales, se cree que el más alto es de las neuronas aferentes de los canales semicirculares de los mamíferos (90 disparos/segundo). Por lo tanto, la despolarización e hiperpolarización de la membrana de las CC da como resultado la modulación de la descarga espontánea en los nervios vestibulares ^{5,6}.

Canales y conductos semicirculares

Los canales semicirculares (CSC) son 3 estructuras óseas con forma de anillos, discontinuadas que se adhieren con el vestíbulo (estructura que aloja al sáculo y utrículo) a través de sus dos extremos. Los CSC se relacionan perpendicularmente, como muestra la figura 3 (a), ya que forman ángulos rectos entre sí y se disponen espacialmente en direcciones verticales y horizontales, denominándose según el

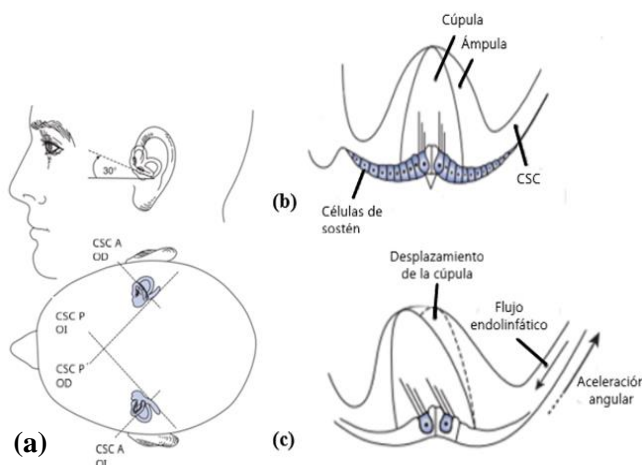


Figura 3. Canales semicirculares. (a) Los CSC se disponen en espacialmente formando ángulos rectos entre ellos. Además, el canal semicircular lateral forma un ángulo de 30° con la horizontal. (b) Se esquematiza la ámpula y cresta ampular. (c) Se esquematiza el desplazamiento de la cúpula producto del desplazamiento inercial de la endolinfa. Abreviaciones: CSC P, canal semicircular posterior; CSC A, canal semicircular anterior; OI, oído izquierdo y OD, oído derecho. Imagen obtenida y modificada del libro “Clinical Neurophysiology of the Vestibular System” ².

plano en el que se encuentren, estos son: anterior o superior, posterior o inferior y horizontal o lateral. A su vez, los CSC horizontales mantienen un ángulo de 30° con el plano horizontal ².

Dentro de los CSC se encuentran porciones del laberinto membranoso denominados conductos semicirculares que contienen endolinfa. Cada conducto tiene un extremo dilatado denominado ampolla donde se ubica la cresta ampular, es decir, el receptor vestibular. La cresta ampular, como se muestra en la figura 3 (b), está conformada por un conjunto de CC, células de sostén y la cúpula; esta última es una masa gelatinosa ubicada desde el techo de la dilatación hasta la superficie de la cresta ampular. Estas estructuras, en conjunto, generan un sello hermético que descontinúa el flujo de endolinfa. En la cúpula se alojan los cilios de las CC responsables de sensar las aceleraciones y desaceleraciones angulares asociadas a las rotaciones de la cabeza^{2,5}.

La cúpula tiene la característica de compartir la misma densidad con la endolinfa, por lo que, solo las aceleraciones son responsables del desplazamiento de la cúpula y, por ende, de la flexión de los estereocilios (figura 3c)^{5,8}. La estimulación de las crestas ampulares ocurre durante la rotación de cabeza, ya que, esto produce el movimiento inercial de endolinfa en dirección a la rotación, así lo demostró Ewald en 1892⁹ para los conductos semicirculares horizontales.

Ewald, a través de un experimento con palomas relaciona el movimiento de la endolinfa en dirección a la cúpula y utrículo con una mayor respuesta mientras que el flujo endolinfático en contra del utrículo generaría una menor respuesta. Por el contrario, la mayor respuesta de los conductos semicirculares verticales ocurre cuando el flujo endolinfático va contra el utrículo ^{2,5}.

Ante estos principios, surgen relaciones importantes entre los conductos semicirculares de ambos oídos que actúan como pares coplanares, es decir, un movimiento en el plano vertical estimulará no solo las estructuras alojadas en el CSC anterior de un oído sino también el CSC posterior del otro oído y viceversa. Sin embargo, hay que considerar que las fuerzas actúan sobre el aparato vestibular periférico y no en estructuras aisladas ².

Mácula utricular y sacular

En el vestíbulo, el laberinto membranoso forma dos sacos globulares: sáculo y utrículo. El sáculo, adyacente a la cóclea, se ubica en el plano sagital, por ende, detecta aceleraciones traslacionales verticales mientras que el utrículo se encuentra en el plano horizontal, respondiendo a estímulos en su mismo plano, y se relaciona con la abertura de los CSC horizontales⁵. Al interior de estas dos estructuras se alojan las máculas, receptores de aceleraciones lineales, que tienen la característica particular, como muestra la figura 4 (a), de tener una capa de otoconias sobre su membrana otolítica⁶.

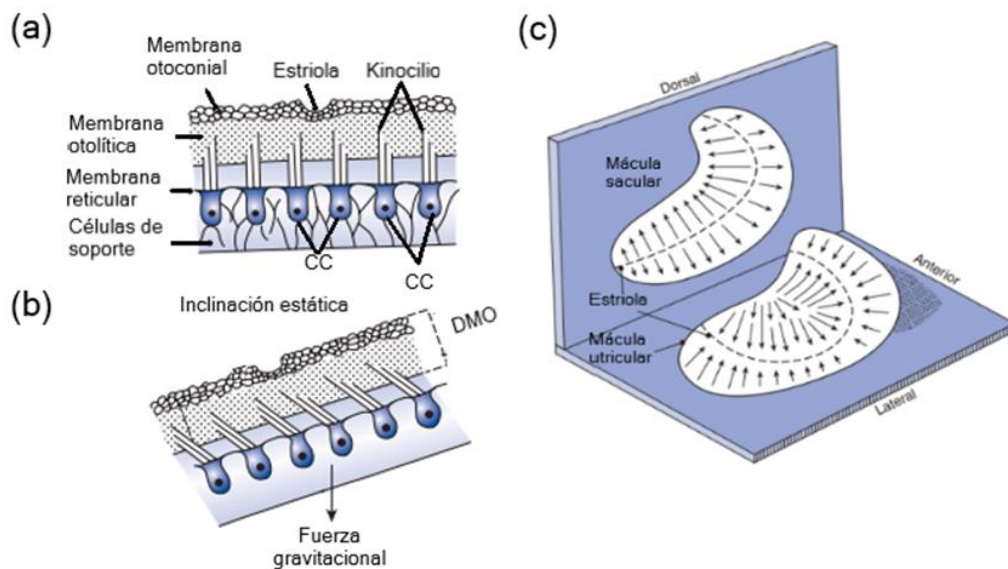


Figura 4. Máculas otolíticas (a) Máculas otolíticas: sacular y utricular, compuestas por un epitelio neurosensorial de CC, una membrana otoconial y una capa otoconial. (b) Comportamiento de las máculas otolíticas durante una inclinación estática. (c) Distribución de los quincilios de las CC en las máculas otolíticas. En la mácula sacular, los quincilios de las CC se organizan contra la estriola mientras que en la mácula utricular ocurre lo contrario. Abreviaciones: CC, células ciliadas. Imagen obtenida y modificada del libro “Clinical Neurophysiology of the Vestibular System”^{2,5}

Las otoconias son partículas de carbonato de calcio (aragonita) que aumentan la densidad (masa inercial) de la membrana otolítica por sobre la densidad de la endolinfa haciéndola más sensible a las aceleraciones lineales verticales y horizontales^{1,2,5}. Sin embargo, las aceleraciones lineales no son los únicos estímulos que producen el aumento de la descarga en los nervios vestibulares, se incluye también

el sonido y las vibraciones. Actualmente, se utilizan estímulos sonoros para evaluar la función del sáculo y utrículo en exámenes como los potenciales evocados miogénicos vestibulares (VEMP) ¹⁰.

Ambas máculas otolíticas tienen la misma composición, es decir, se conforman del epitelio neurosensorial formado por las CC, una membrana otoconial; que es gelatinosa de tipo proteica en los que se encuentran los cilios de las CC, y la capa otoconial, como se muestra en la figura 4 a. Estas máculas difieren en el orden de sus CC con relación a una zona que divide ambas máculas en el centro, la estriola, figura 4 (b) ⁵.

En las máculas utriculares, los cilios se organizan de tal manera que los kinocilios quedan alrededor de la estriola mientras que en las máculas saculares los kinocilios quedan en contra de la estriola, figura 4 (c). Debido a esta distribución, solo las CC de un lado de la estriola se despolarizan mientras que las del otro lado se hiperpolarizan. Esto ocurre porque la estriola es curva, lo que consecuentemente produce que solo un grupo de células se estimulan por una inclinación o aceleración. Las fibras del VIII par craneal conservan la señal direccional porque cada aferencia inerva sólo una pequeña región del neuroepitelio macular ⁶.

Aferencias primarias vestibulares

Desde las crestas ampulares y máculas, tanto utricular como sacular, se proyectan aferencias primarias que se dirigen al tronco encefálico de forma ordenada e independiente. En particular, las proyecciones nerviosas del conducto semicircular superior y horizontal y, de la mácula utricular y porción anterosuperior de la mácula sacular conforman el nervio vestibular superior. Mientras que las aferencias de la cresta ampular del conducto semicircular posterior y gran parte de la mácula sacular conforman el nervio vestibular inferior ^{2,6}.

Cuando la información llega al ganglio vestibular, que corresponde a la primera neurona, las aferencias mantienen su orden ya que esta estructura está subdividida en dos partes. Medialmente a la primera aferencia neuronal, las ramas del nervio vestibular superior e inferior, aún en el hueso temporal, se fusionan para conformar un nervio principal que se dirige al tronco encefálico a la unión pontobulbar, relacionándose con el piso del IV ventrículo ^{2,6}.

Aparato vestibular central

Las aferencias vestibulares primarias se dirigen a los complejos de núcleos vestibulares y cerebelo posterior (específicamente úvula-nódulo). Estas estructuras son responsables del procesamiento inicial de la información vestibular por parte del sistema nervioso central. A continuación, se describe brevemente el complejo de núcleos vestibulares y sus principales proyecciones ¹¹.

Complejo de núcleos vestibulares

El complejo de núcleos vestibulares (NV) son los encargados de distribuir la información sobre la dirección y velocidad del movimiento de la cabeza y, sobre su posición respecto a la gravedad hacia áreas del tronco encefálico, cerebelo y encéfalo. Esta información es producto de una compleja interacción que ocurre entre los NV, como muestra la figura 7 (A) ^{6,11}.

Esta estructura se ubica en el tronco encefálico pontomesencefálico y está constituido por cuatro núcleos vestibulares principales denominados: superior, medial, lateral e inferior. Sin embargo, hay otros siete grupos de células más pequeños e interconectados con ellos. Para llegar a este complejo, las fibras aferentes primarias atraviesan el cuerpo restiforme (parte del pedúnculo cerebeloso inferior) y se dividen en una rama ascendente y una rama descendente ^{5,6}.

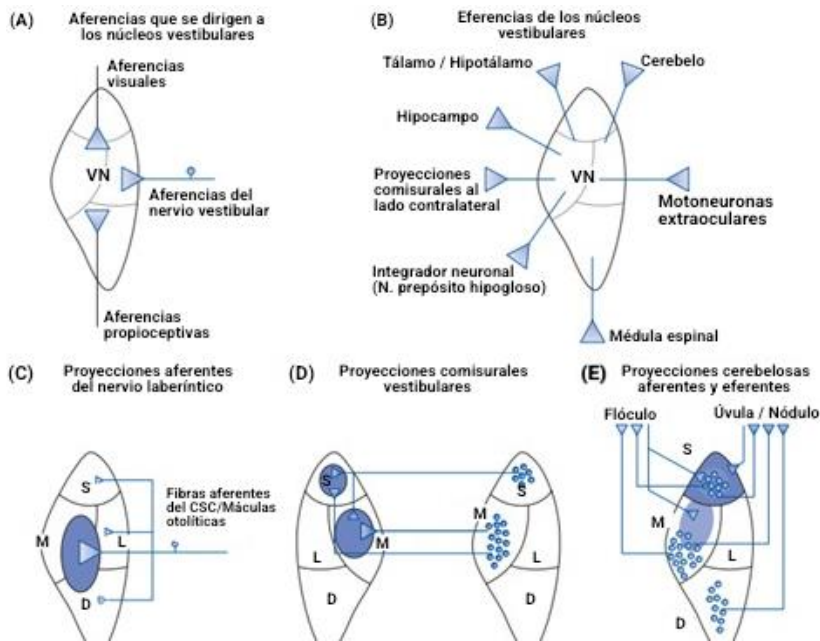


Figura 7. Principales aferencias y eferencias de los núcleos vestibulares. Imagen obtenida y modificada del libro “Clinical Neurophysiology of the Vestibular System”².

De esta forma, los CSC se proyectan principalmente al NV medial y superior, mientras que los órganos otolíticos se dirigen a los núcleos lateral e inferior², como muestra la figura 7 (C). Por lo que, “la información específica que llega a las neuronas de NV permite que tengan una selectividad

direccionales, por determinados movimientos de cabeza; y pueda codificar los componentes angulares y lineales de estos movimientos”⁶.

Áreas de proyección

Los NV, como muestra la figura 7 (letra B y D) y la tabla 1, se proyectan como aferencias secundarias hacia áreas como el cerebelo, complejo vestibular contralateral, distintas áreas del tronco encefálico; participando en distintos reflejos, y hacia la corteza cerebral por la vía talamocortical. A continuación, se describirán brevemente algunas proyecciones aferentes de los receptores y núcleos vestibulares en el sistema nervioso central.

Núcleo	Aferencias	Eferencias
Núcleo vestibular superior <i>“Control de los movimientos oculares”</i>	Cresta ampular y flóculo – central Utriculo, sáculo Nódulo Úvula Núcleo fastigial - periférico	Ipsi-y contralateral (MLF) Núcleo oculomotor Núcleo troclear Tálamo Formación reticular pontino Flóculo
Núcleo vestibular lateral <i>“Control de la postura”</i>	Utriculo y sáculo Vermis Núcleo fastigial-caudal-dorsal Columna cervical y lumbar –rostro-dorsal Cervical y tórax superior-ventral	Cordón cervical-rostro-ventral Núcleo caudal superior Núcleo caudal lateral
Núcleo vestibular medial <i>“Estabilización de la mirada y postura en el plano horizontal”</i>	Cresta ampular-dorso-rostral órganos otolíticos - ventromedial Flóculo Vermis caudal Núcleo fastigial Columna cervical Corteza cerebral-caudal	Núcleo oculomotor (MLF) Cordón cervical anterior (tracto vestibulo espinal medial)
Núcleo vestibular inferior <i>“Integración de mensajes espinales vestibulares y cerebelosos para el control de la postura”</i>	Cresta ampular- central utriculo y sáculo- periférico Flóculo Nódulos Úvula Núcleo cerebelar medial Cervical y lumbar (tracto espino-cerebelar dorsal)	Corteza cerebelar Núcleos cerebelosos profundos (núcleo fastigial) Médula cervical Formación reticular Núcleo vestibular contralateral

Tabla 1. Funciones, aferencias y eferencias de los núcleos vestibulares en la rata, similar en la mayoría de los mamíferos. Los NV contactan con los centros oculomotores, centros del cuello y a lo largo de la médula espinal. Además, su actividad está modulada por el cerebelo. Abreviaciones: NV, núcleos vestibulares; MLF, fascículo longitudinal medial. Tabla obtenida y traducida de “The new neurology”³.

Cerebelo:

La actividad de las neuronas vestibulares centrales está ampliamente controlada por el cerebelo. Existen cinco regiones principales del cerebelo que reciben aferencias primarias o secundarias (como muestra la figura 6 letra E), que incluyen: (I) nódulo y úvula ventral (lóbulo X y IX); (II) flóculo y para flóculo ventral, involucrados en la generación y plasticidad de los movimientos oculares compensatorios,

incluidos los reflejos oculares visuales de seguimiento y el reflejo vértigo ocular.; (III) vermis oculomotor del lóbulo posterior (lóbulo VI-VII), que participa en el procesamiento visuo vestibular; (IV) lóbulo I-V del lóbulo anterior; y (V) núcleos cerebelosos profundos. Estas regiones realizan una importante contribución al procesamiento de la información vestibular, lo que garantiza una orientación espacial precisa y un control postural durante las actividades cotidianas¹².

Lesiones en el nódulo/úvula del cerebelo, regiones del cerebelo conectadas recíprocamente con los NV, alteran el procesamiento espacial tridimensional y temporal de la información vestibular, lo que sugiere que el cerebelo hace contribuciones significativas en el cálculo del movimiento inercial¹².

Respecto a las aferencias primarias, esta información proveniente de los órganos receptores (nervio vestibular) se proyecta directamente en el córtex y núcleos cerebelosos ipsilaterales. Estas fibras vestibulocerebelosas primarias pasan por el cuerpo yuxtarestiforme (del pedúnculo cerebeloso inferior) y envían colaterales al núcleo dentado del cerebelo. Siendo la terminal de aferencias la úvula, el nódulo y flóculo, respectivamente^{6,11}.

También existe aferencias vestibulares secundarias (provenientes de los NV), que se distribuyen bilateralmente al cerebelo, es decir, información proveniente desde el tronco encefálico que se dirige al cerebelo, terminando en el lóbulo floculonodular, en la úvula, porciones adyacentes del para flóculo y, núcleos del fastigio y dentado del cerebelo, siendo esencial para la precisión de movimientos^{6,11}.

Conexiones comisurales:

Otra comunicación importante, principalmente inhibitoria, ocurre entre NV análogos contralaterales, a excepción del NV inferior y núcleo parasolitario, por medio de “fibras comisurales” principalmente dada en los NV superior y medial. Estas conexiones permiten una comparación de la información proveniente de los pares de conductos semicirculares y órganos otolíticos de ambos oídos. A su vez, desempeñan un rol en la compensación vestibular, que corresponde a la restauración gradual

de la actividad de reposo de los NV con un ajuste central^{6,12}. Sin embargo, las conexiones comisurales no están restringidas a núcleos homólogos, como muestra la figura 7 D^{2,5,11}.

Otras conexiones aferentes:

Los NV reciben otras aferencias que proyectan en ellos información de imágenes visuales, desde el núcleo del tracto óptico (considerado parte del sistema accesorio)¹⁴; información aferente propioceptiva dada por fibras espino-vestibulares de la médula espinal, que entrega un input sobre la postura y las extremidades; e información proveniente del tálamo y diversas regiones de la corteza cerebral, entre otros⁶.

Todas estas conexiones en conjunto permiten que se genere una respuesta vestibular en áreas involucradas en la estabilización de la mirada y la postura, la regulación vegetativa y función cognitiva, respectivamente^{2,5}. Lo anterior posibilita la comprensión de los síntomas que se experimentan cuando la integración de la información en los NV no es consistente. ⁵ Por ejemplo, el por qué se experimenta hipotensión ortostática, taquicardia postural y caídas cuando existe una disfunción de la respuesta vegetativa vestibular⁶. A continuación, se describe brevemente el reflejo vestíbulo ocular, reflejo vestíbulo espinal y vía talamocortical.

Reflejo vestíbulo ocular

El reflejo vestíbulo ocular (RVO) es un movimiento ocular involuntario que estabiliza el campo visual y la imagen retiniana durante el movimiento de la cabeza. Al desencadenarse este reflejo, se producen movimientos oculares compensatorios a la misma velocidad del movimiento de cabeza, pero en dirección opuesta. Estos movimientos oculares pueden ocurrir en todas las velocidades y direcciones del movimiento de cabeza, pudiendo ser rotacional (r-RVO), traslacional (t-RVO) o ambos a la vez^{2,6}.

Respecto al r-RVO, este puede ser de tres tipos: horizontal, vertical y de torsión, siendo controlados por los CSC horizontales y utrículo, CSC verticales y sáculo y, CSC verticales y utrículo, respectivamente⁶. Por ejemplo, cuando se rota la cabeza en el plano horizontal, ambos oídos son estimulados en simultáneo (uno de manera excitatoria y otro de manera inhibitoria), llegando esta información a los centros integradores, específicamente a los NV medial y lateral, donde por medio de fibras comisurales de pares análogos, se inhiben los NV del oído contrario a la dirección del movimiento de cabeza. Lo anterior, permite entender que el arco reflejo se desarrolla por las neuronas presentes en los NV ipsilaterales al oído estimulado, permitiendo un movimiento conjugado de los ojos en dirección contraria al movimiento de cabeza⁵.

A modo de ejemplo, como muestra la figura 8, el r-RVO de los CSC horizontales comienza con la excitación de los NV ipsilaterales al movimiento, desencadenando la activación de vías excitatorias ipsi y contralaterales. En la vía ipsilateral, el NV lateral estimulado se comunica, por medio del tracto ascendente de Deiters (TAD), con el núcleo oculomotor (III par craneal) para contraer el músculo recto medial. A su vez, en la vía excitatoria contralateral se estimula el NV medial que activa al núcleo abducens contralateral (VI par craneal), por medio de interneuronas que decusan. Este último núcleo, es el responsable de la contracción del músculo recto lateral y, a su vez, de enviar impulsos excitatorios al núcleo oculomotor ipsilateral al oído estimulado, a través del fascículo longitudinal medial (FLM). A

diferencia de las vías excitatorias, la vía inhibitoria se origina por la actividad del NV medial, que se proyecta ipsilateralmente sobre el núcleo abducens⁵.

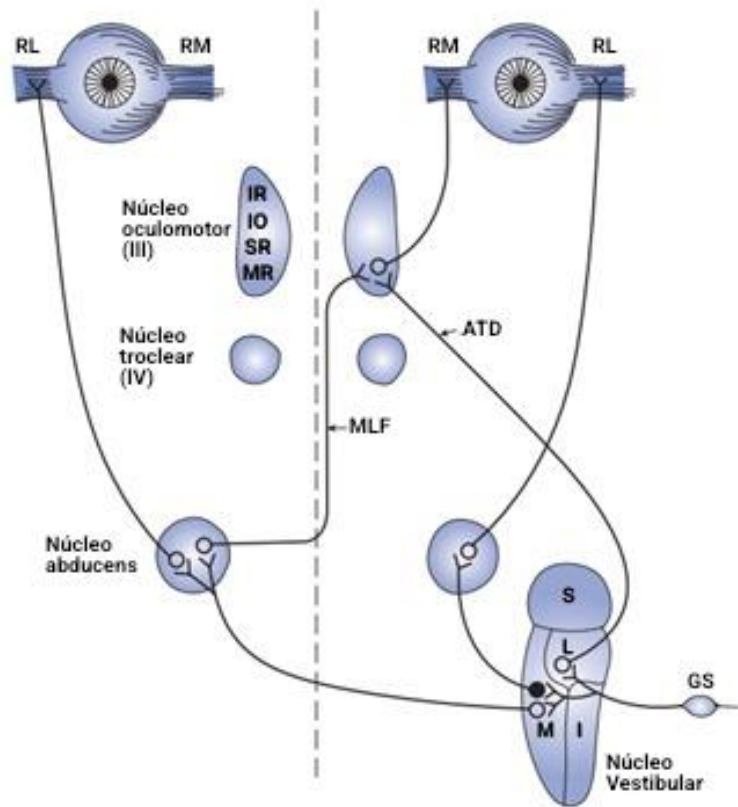


Figura 8. Vía del reflejo vestibulo ocular desencadenado por la estimulación del CSC horizontal. Abreviaciones: GS, ganglio Scarpa; Núcleos vestibulares: s, superior, l, lateral, m, medial e i, inferior; MLF, fascículo longitudinal medial; ATD, tracto ascendente de Deiters, RL, músculo recto lateral; RM, músculo recto medial. Imagen obtenida y modificada del libro “Clinical Neurophysiology of the Vestibular System”².

Reflejo vestibulo espinal

El sistema vestibular también cumple la función de ajustar la actividad muscular y la postura por medio del reflejo vestibulo espinal (RVE), quien es capaz de estabilizar la cabeza respecto al tronco y con el espacio general al activar distintos patrones de extensión y flexión en los músculos denominados “antigravitatorios” del cuello, tronco y extremidades con la finalidad de mantener el equilibrio y evitar caídas. Las lesiones de estas vías, cuando se localizan debajo de los NV, provocan caídas hacia un lado del cuerpo, pero no provocan vértigo ni síntomas vegetativos^{2,5}.

Los RVE requieren complejos patrones de contracción y de relajación de numerosos músculos y, la acción coordinada de estos para responder a eventualidades como lo es un trastorno postural. Su estudio se complejiza porque cada persona tiene estrategias distintas para mantener su postura erguida⁵. Sin embargo, cuando existe una lesión en sus vías de proyección, posterior a los NV, la persona tiene dificultades para mantener su tono muscular lo que provocan caídas hacia un lado del cuerpo².

Existen distintas vías del RVE, que cuentan una gran organización topográfica que comienza en los NV y descienden por la médula espinal. Estas vías son el tracto vestíbulo espinal lateral; que parte principalmente del NV lateral y actúa en las extremidades y tronco para evitar caídas y, el tracto vestíbulo espinal medial; que parte principalmente del NV medial y actúa en la musculatura del cuello para estabilizar la cabeza respecto al espacio y el tracto retículo espinal, que parte en las neuronas de la formación reticular bulbar y son influidas por los 4 NV principales para inhibir motoneuronas flexoras y extensoras a lo largo de la médula espinal^{5,6}.

Por ejemplo, el tracto vestibuloespinal lateral inicia con las proyecciones provenientes principalmente del NV lateral. Un patrón somatotrópico de proyecciones se origina en el NV lateral; las neuronas de la región rostroventral inervan la médula cervical, las neuronas dorsoventrales inervan la médula lumbosacra y, por último, las neuronas intermedias inervan la médula torácica. Los impulsos nerviosos entregados por los NV pasan detrás del complejo olivar inferior y descienden por el cordón anterior de la médula, emitiendo colaterales durante su recorrido, para finalizar en la asta anterior de la musculatura axial y proximal de las extremidades. De esta forma, cuando la vía desciende se logra una compleja comunicación con los distintos grupos musculares que coordinadamente buscan estabilizar el centro de gravedad en el cuerpo, por lo tanto, permitiendo el control postural^{5,6}.

Red vestibulo-talamocortical

Las funciones vestibulares subcorticales-corticales y superiores surgen de la convergencia de información vestibular, visual y somatosensitiva a nivel talamocortical. Esta información procedente de los núcleos vestibulares y cerebelo se proyecta a distintas zonas del tálamo, donde las vías con información vestibular ascienden paralelas e independientes hacia distintas áreas de la corteza cerebral, entre ellas, la corteza vestibular parietoinsular (PIVC, por sus siglas en inglés), como muestra la figura 9 4.6.15.

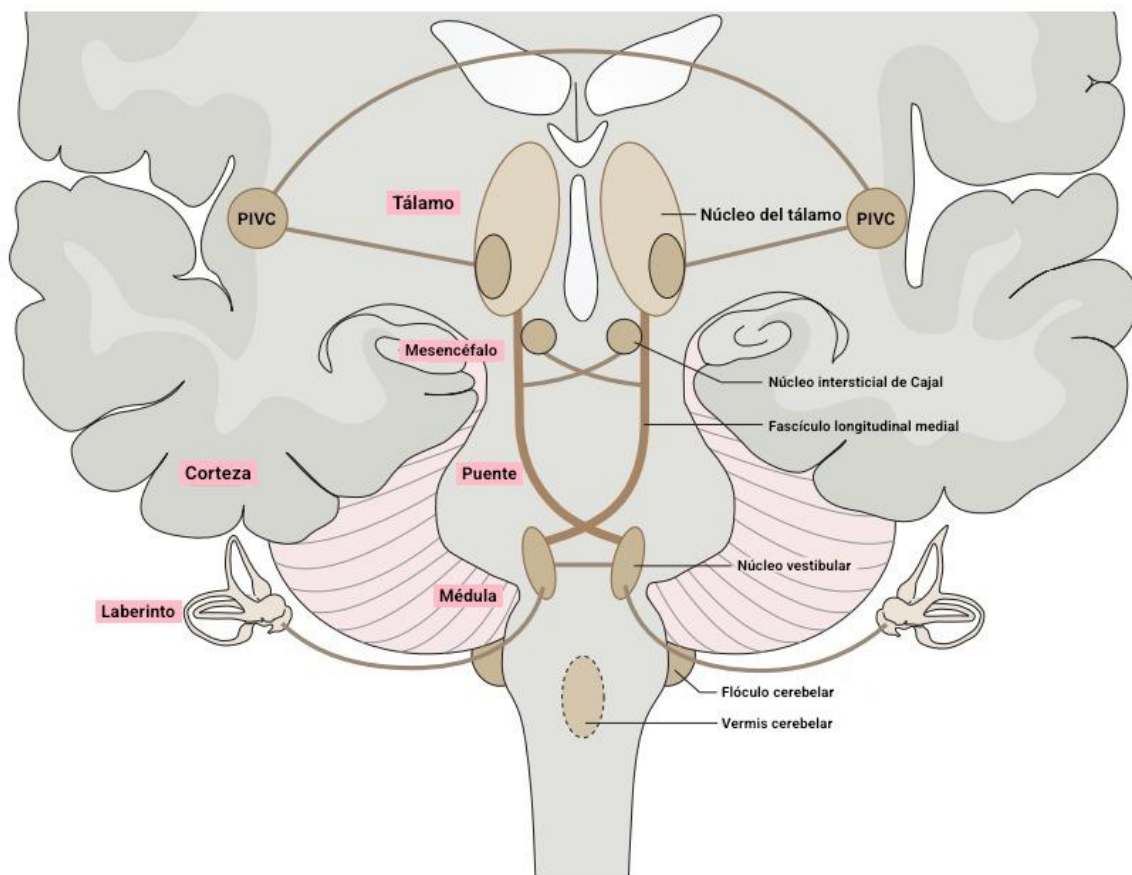


Figura 9: Esquema de la vía vestibulo talamocortical. Este esquema muestra la organización estructural bilateral del sistema vestibular central desde los núcleos vestibulares hasta áreas de la corteza vestibular parieto-insular (PIVC) y la corteza temporal superior medial (MST) de la corteza visual. Se evidencia que las aferencias vestibulares ascienden por vías ipsi y contralaterales, principalmente a través del fascículo longitudinal medial al tegmento del mesencéfalo, donde decusa nuevamente. A partir de ahí, las vías siguen una vía paralela a través de los núcleos talámicos hasta la corteza vestibular. Imagen obtenida y modificada de “The dizzy patient: don’t forget disorders of the central vestibular system”¹⁶.

Existen 5 vías de proyección desde los núcleos vestibulares y cerebelo hacia la red cortical vestibular. Tres de estas vías son ipsilaterales, específicamente, dos vías se proyectan por los núcleos talámicos posterolateral o paramediano mientras que la tercera vía no tiene como punto de relevo al tálamo, sino que llega directamente a la ínsula inferior. Respecto a las dos vías contralaterales restantes, estas decusan a nivel de la protuberancia o mesencéfalo y se proyectan por el tálamo posterolateral, como lo muestra la figura 9. A pesar de que se han identificado múltiples proyecciones desde los NV a los núcleos talámicos, la mayoría de las proyecciones desde los NV superior y medial terminan en los núcleos talámicos laterales⁴.

Esta organización bilateral, requiere de una interacción continua entre los circuitos derechos e izquierdos en todos los niveles y, especialmente entre los hemisferios para producir una percepción global estable (rol fundamental del cuerpo caloso) y, a la vez, producir reacciones motoras adecuadas. Esta representación resulta ventajosa para diferenciar entre el movimiento y la orientación de la cabeza, para la sustitución sensorial de una falla periférica unilateral y para proporcionar una base para la compensación central de un desequilibrio del tono vestibular periférico o central¹⁷. Para mejorar la comprensión de la vía talamocortical, se describe brevemente al tálamo.

Básicamente, el tálamo es una estructura compuesta por dos complejos nucleares independientes; que en conjunto cumplen dos principales funciones, estas son: (I) La transmisión específica de información sensorial a la corteza a través de núcleos talámicos de primer orden (por ejemplo, núcleos geniculados medial que proyecta información a la corteza auditiva) y (II) la distribución de la actividad cortical por conexiones separadas, unidireccionales o recíprocas, por medio de núcleos de orden superior; que reciben y envían señales a múltiples áreas de la corteza⁴.

El papel particular que desempeñan los núcleos talámicos es su amplia conectividad hacia y desde las áreas de la corteza sensorial, motora y cognitiva. Sus subdivisiones permiten el desarrollo de redes capaces de actuar como un centro integrador de información a través de diversas redes corticales,

incluida funciones cognitivas superiores, incluyendo la orientación espacial y percepción de movimiento propio. Como tal, tiene la característica de ser un centro provincial y un centro de conexión para interacciones funcionales entre redes, similar a un “hub” informático (“hub” o “concentrador” es un dispositivo que permite centralizar el cableado de una red de computadoras, para luego poder ampliarla conectando con varios dispositivos)⁴. A continuación, se describirán brevemente los centros provinciales y centros conectores.

Los centros provinciales, necesarios para funciones corticales específicas, corresponden a una organización entre el tálamo y regiones corticales que pertenecen a una misma red funcional cortical, donde el tálamo tiene múltiples conexiones con distintos puntos de la red modular, como lo muestra la figura 10 A. Mientras que, en los centros conectores, para funciones más complejas, se organiza entre el tálamo, distintas redes funcionales corticales y un centro conector cortical. Es decir, el tálamo tiene múltiples conexiones con las distintas redes funcionales corticales y, a su vez, con un centro conector cortical (ver figura 10 B)⁴.

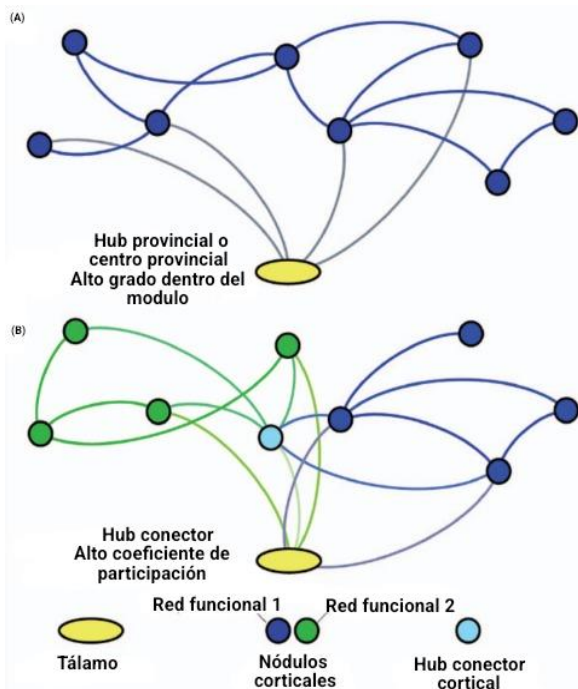


Figura 10. Comunicación corticocortical mediada por el tálamo para redes cerebrales funcionales. (A) Como centro provincial (provincial hub), el tálamo está conectado con regiones corticales que pertenecen a la misma red funcional cortical (círculos azules). (B) Como centro conector (connector hub), el tálamo está conectado con regiones corticales en múltiples redes funcionales corticales (una red en color azul y la otra en verde). Imagen obtenida de *Thalamocortical network: A core structure for integrative multimodal vestibular functions* ⁴.

Esta organización permite comprender la existencia de diferentes redes talamocorticales tanto en el hemisferio dominante como en el hemisferio opuesto, este último es el dominante vestibular. La dominancia o lateralización de la función vestibular es el producto de una distribución asimétrica en las fibras ascendentes que decusan a nivel ponto-mesencefálico y en el tálamo; que se localiza en el hemisferio derecho en diestros y hemisferio izquierdo en zurdos. Siendo, la dominancia vestibular, el requisito previo para funciones vestibulares superiores como la navegación y memoria espacial, percepción de la vertical, modelos internos de gravedad, conciencia corporal y autoconciencia¹⁷⁻¹⁹.

En consecuencia, la organización talamocortical permite que existan dos sistemas de referencia espacial ubicados en hemisferios opuestos, estos son: marco de referencia egocéntrico y allocéntrico, que se desarrollan, actúan y se optimizan en paralelo. El marco referencia egocéntrico consiste en el reconocimiento y manipulación de objetos mientras que el marco de referencia allocéntrico, por su parte, está implicado en la orientación espacial del yo en el espacio, tareas vitales en el desarrollo y desenvolvimiento de cada individuo. Estos conceptos son compatibles con una atención hemisférica izquierda más focal (categórica) y una atención hemisférica derecha más global (coordenadas espaciales), respectivamente^{4,18}.

Otro hito importante que se da a nivel talamocortical es que existe un cambio en la codificación por los sistemas neuronales de las señales vestibulares, ya que se codifica diferentes características de la información vestibular, por ejemplo, la codificación vestibular específica del movimiento propio por las células de velocidad angular de la cabeza (ubicadas en el tronco encefálico inferior) y las células de dirección (ubicadas en el tronco encefálico superior, tálamo y corteza). Lo que explica porque no es frecuente la manifestación de vértigo rotacional cuando existe una lesión a nivel talamocortical, a diferencia de una lesión periférica⁴.

Brandt y Dieterich et al., mencionan explícitamente que la ubicación en el espacio está codificada por las células de lugar del hipocampo; la de rotación de la cabeza, por células de velocidad angular de

la cabeza; la de dirección de rumbo, por las células de dirección de rumbo; y la de distancia, por células de la corteza entorrinal. Siendo de gran importancia la integración de la velocidad a la dirección para actualizar la conciencia de la posición en el espacio⁴.

Como lo expone Haines et al., se han identificado al menos cinco tipos de células que contribuyen a la orientación espacial; células de lugar, células de red, células de dirección, células limítrofes y células de velocidad. Las células de lugar se ubican principalmente en el hipocampo y descargan en función de la localización del animal en el entorno. Las células de red del córtex entorrinal responden a la localización espacial en un patrón de mosaico. Las células de dirección de cabeza que se encuentran en el tálamo dorsal anterior y el subículo, que descargan en función de la dirección de la cabeza del animal. Las células limítrofes en el córtex entorrinal envían señales de los límites ambientales y las células de velocidad descargan proporcionalmente a la velocidad de carrera del animal⁶.

Estas regiones tienen interconexiones que se cree que actúan conjuntamente para proporcionar orientación espacial, memoria espacial y nuestra capacidad de desplazarnos a lugares aprendidos, cómo conducir hasta una tienda o caminar por nuestra casa a oscuras. Todas estas células dependen de que el sistema vestibular mantenga su capacidad de adaptación para mantener sus propiedades espaciales. No se conoce bien la vía por la que las señales vestibulares llegan a la red de navegación. Pero los pacientes con alteraciones del sistema vestibular, el hipocampo y las regiones dorsales del tálamo a menudo muestran déficits graves de su capacidad de orientarse en entornos familiares, desplazarse de un lugar a otro o incluso de encontrar el camino a casa⁶.

Corteza vestibular

La corteza vestibular es una amplia red neuronal distribuida en áreas multisensoriales que se ubican en la profundidad del surco lateral y en la corteza perisilviana, específicamente, en la ínsula posterior, el opérculo parietal y en la unión temporoparietal, y también se distribuyen en la corteza somatosensorial primaria, corteza parietal posterior, corteza frontal, corteza extraestriada, corteza cingulada e hipocampo, como lo muestra la figura 11. Esta red cortical vestibular está involucrada en funciones vestibulares de orden superior, como la percepción de movimiento propio, juicios sobre la verticalidad; así como el control del equilibrio y navegación espacial además ejerce una influencia directa en procesos de alto nivel de cognición, emoción y comportamiento social (López, C)¹⁹⁻²¹.

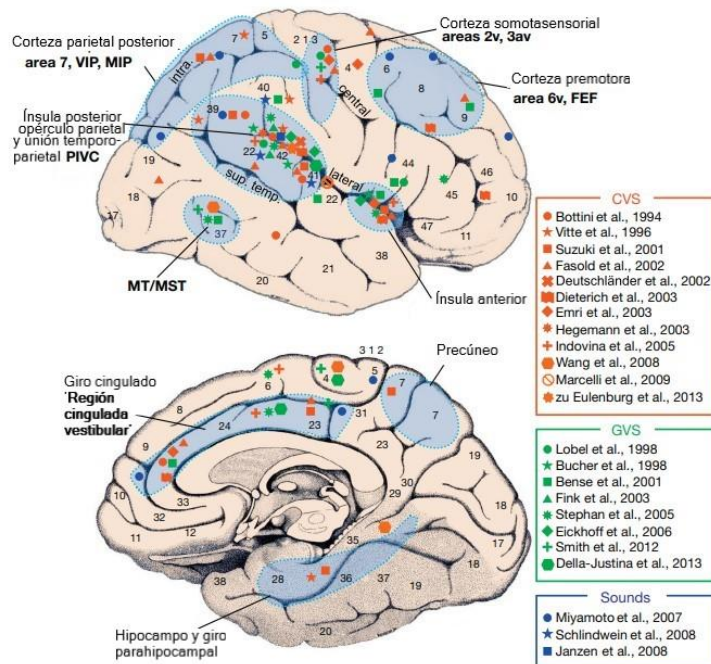


Figura 11. Representación esquemática de la corteza vestibular humana. Imagen obtenida y modificada de "Vestibular Cortex" 19.

Una característica particular del sistema vestibular es que carece de un lugar específico denominado corteza giro vestibular primaria, ya que, al entregar información principalmente multimodal, esta es distribuida a distintas áreas de la corteza cognitiva y perceptiva, lo que permite que a partir de una misma información (vestibular, visual y propioceptiva) surjan distintos procesamientos dentro de la red

cortical^{16,17}. A continuación, se describirán las áreas corticales vestibulares obtenidas en diversos estudios de neuroimagen. cortical.

Corteza vestibular parietoinsular

La corteza vestibular parietoinsular (PIVC), inicialmente descrita en monos por Grüsser et al., es el centro de la red cortical vestibular multisensorial que desempeña un importante papel en la conciencia y cognición corporal, como por ejemplo, la integración del movimiento corporal en referencia a las entradas vestibulares, ya que recibe información propioceptiva que es independiente del movimiento de la cabeza, es decir, permite la representación egocéntrica^{19,22}.

Si bien la ubicación del PIVC humano aún no es clara, varios estudios indican que esta red vestibular central está ubicada en el área OP2, la ínsula posterior y la región retroinsular¹⁶. Actualmente, Ibitoye et al, en su estudio sugieren que el área OP2, ubicada en el opérculo parietal posterior y extendida hacia la corteza retroinsular, es una región central dentro de la red vestibular cortical humana en función de su ubicación, conectividad estructural y respuestas funcionales²⁰.

Es decir, proponen al OP2 como un potencial hub vestibular ya que presenta múltiples conexiones con áreas involucradas en la función vestibular como la corteza somatosensorial primaria, el opérculo parietal, la corteza supra calcarina, del lóbulo parietal inferior izquierdo y la corteza cingulada anterior. Adicionalmente, su ubicación central permite predecir que existen sub-regiones conectadas con áreas vestibulares del cerebro involucradas en el procesamiento de funciones visuo-vestibulares de orden superior (Ibitoye et al.)²⁰.

A pesar de que existen pocas exploraciones funcionales del PIVC en humanos, se ha demostrado una función predictiva sobre la influencia de la aceleración gravitacional en el movimiento visual de los objetos y, que está involucrada con la percepción de la gravedad al elaborar un sentido de la vertical y

de “hacia dónde está arriba”, funciones perceptivas que mantienen la bipedestación y la postura erguida^{19,22}.

Entre los años 2008 y 2013, Blanke, Heydrich et al., López et al., han propuesto implicaciones de esta red cortical en los aspectos más elevados de la conciencia corporal y la autoconciencia, ya que el daño a esta región puede afectar el sentido de unidad entre el yo y el cuerpo alterando el sentido de propiedad del cuerpo¹⁹.

Corteza parietal somatosensorial anterior

En la corteza parietal somatosensorial anterior, del mono, se han identificado 3 áreas distintas involucradas con el sistema vestibular, estas son: (I) el área 2v; (II) el “área 3 aHv”, correspondiente a la región de la mano y el brazo; y (III) el “área 3 aNv” que representa el cuello y el tronco. Estudios con imágenes en humanos, muestran activación de la parte anterior del surco intraparietal y la corteza somatosensorial primaria, equivalentes a las áreas (I), (II) y (III). Adicionalmente, Brandy et al, se sugiere que la parte anterior del área 7 es el equivalente humano del área 2v (en el mono)^{19,22}.

En estudios realizados por Odkvisk et al., Zarzecki et al., Akbarian et al. y Guldin et al., proponen que la corteza parietal anterior es un centro de integración de la información vestibular y la información somatosensorial de la cabeza, cuello y extremidades superiores. Adicional a esto, Shinder et al., plantean que esta área cortical tiene un papel en la diferenciación del movimiento del yo del objeto^{19,22}.

Corteza parietal posterior

Los estudios realizados por Fasold et al., Lobel et al. y Suzuki et al., utilizando estimulación vestibular calórica o galvánica, expusieron que en humanos existe una región cortical vestibular en el surco intraparietal, diferente a la región 2v (corteza somatosensorial), que se activa mediante estimulación de los órganos vestibulares periféricos, tanto máculas otolíticas como crestas ampulares, lo que sugiere una convergencia canal-otolítica (Miyamoto et al. y Suzuki et al.)¹⁹.

Estos hallazgos se corresponden con los estudios realizados en animales, en que se evidencia dos áreas multisensoriales ubicadas en el surco intraparietal: el área intraparietal ventral (VIP) y el área intraparietal medial (Bremmer et al., Chen et al., Klam et al. y Schlack et al.). En relación al VIP en monos, se describe un área multimodal que representa las rotaciones en 3D y las traslaciones del cuerpo mediante la combinación de señales vestibulares y visuales (Chen et al.), estas últimas, entregadas por MT (circunvolución temporal medial) y MST (corteza temporal superior medial). Además, se describe una interconexión entre VIP, la corteza motora y PIVC. Adicionalmente a esta información, las neuronas VIP también responden a estímulos táctiles y vestibulares (Bremmer et al.), siendo candidatos para desempeñar la codificación multimodal del movimiento propio y la autoconciencia (Blanke) ^{19,22}.

En otras palabras, VIP al recibir información vestibular, visual y somatosensorial es capaz de crear una representación del espacio (dentro de un metro respecto del sujeto) e integrar la información visual del objeto en relación con la cabeza (Colby et al. y Bremmer). Adicionalmente, puede suprimir el movimiento reflejo durante el movimiento activo (Klam et al.) ^{19,22}.

Otro hallazgo importante, es que la estimulación vestibular calórica también activó el área 7 de Brodman tanto en la corteza parietal superior lateral (Vitte et al.) como en el precúneo (Suzuki et al.)¹⁹.

Corteza frontal

Los estudios realizados entre 1998 y 2003, describieron que la corteza motora primaria y la corteza premotora, áreas de la corteza frontal, se activan ante estimulación vestibular (Bense et al., Emri et al., Falsold et al., Lobel et al, y Miyamoto et al.), sugiriendo una probable relación con el control vestibular de las funciones motoras, posturales y oculomotoras. A estas áreas corticales, se incluye la corteza motora suplementaria (Della-Justina et al., Smith et al., Wang et al) ¹⁹.

Las activaciones vestibulares de la corteza prefrontal dorsolateral, como la circunvolución frontal media/superior (Bense et al., Dieterich et al., Miyamoto et al. y Stephan et al.) pueden estar

relacionadas con el procesamiento vestibular en los campos oculares frontales (FEF, por sus siglas en inglés). En adición, existe evidencia sobre el control cortical de FEF sobre los movimientos sacádicos, seguimiento lento y nistagmo vestibular por el FEF ¹⁹.

Corteza visual extraestriada

Los estudios realizados en humanos por Bense et al, Smith et al., Stephan et al. y Wang et al, expusieron la activación de la circunvolución temporal medial (MT) y regiones aledañas, tras la estimulación vestibular calórica o galvánica. Esta actividad cortical se superpone en el complejo cortical compuesto por MT y MST, es decir, complejo MT/MST, que es sensible al movimiento visual. Otro estudio sobre la diferenciación de este complejo, realizada por Smith et al., evidenció que sólo MST fue activada con la estimulación vestibular galvánica, lo que propone que MST tiene al menos dos subregiones, sólo una de ellas recibe señales vestibulares ¹⁹.

Esta información es coherente con los hallazgos en estudios electrofisiológicos en monos, que exponen que la porción dorsal de MST (MSTd) contiene neuronas que responden a la estimulación vestibular y al flujo óptico (Bremmer et al., Chen et al., Gu et al. y Takahashi et al.). Por lo que, se propone que la porción anterior de MST (en humanos) podría corresponder al homólogo de MSTd ¹⁹.

Corteza cingulada

En monos, se han descrito activaciones vestibulares en la corteza cingulada, específicamente, tanto en el área posterior (área 23 de Brodmann) como en el área anterior (áreas 24/32 de Brodmann). Esta última área ha sido involucrada en el control motor y la atención ¹⁹. Respecto a los estudios en humanos, se han encontrado activaciones del cíngulo que podrían estar ubicadas en una región homóloga al área descrita en monos (Guldin et al.) ¹⁹.

Hipocampo

El hipocampo es una región del cerebro ubicada en el lóbulo temporal. Las regiones hipocampal y parahipocampal tienen como función *la integración y construcción de mapas cognitivos*, utilizando la información de neuronas conocidas como las *place cells* (células de lugar) y *head direction cells* (células de dirección de rumbo). La actividad de estas células (ubicadas en el hipocampo y otras estructuras cerebrales) se acoplan para generar una representación abstracta del espacio en dos dimensiones, sugiriendo un procesamiento en relación con la memoria y la navegación espacial ¹⁹⁻²³.

Funciones superiores y sistema vestibular

El sistema vestibular está involucrado en la mayoría de las interacciones con el mundo exterior, más allá de su actividad refleja, este sistema asume un papel importante en funciones cognitivas y otras modalidades no vestibulares como consecuencia de sus múltiples proyecciones en distintas áreas de la corteza cerebral ^{16,17,24}.

Estas tareas adicionales a la función como la representación interna del esquema del cuerpo y el modelo interno del espacio circundante, así como la percepción de movimiento multisensorial, la atención, la memoria espacial y la navegación espacial se denominan funciones vestibulares superiores (término acuñado en analogía a las funciones visuales superiores) e implican la integración de la red vestibular y dominios cognitivos que están mediados principalmente por el hipocampo y lóbulos temporoparietales ^{15,16}.

Respecto a las redes neuronales que transmiten información vestibular a la corteza vestibular, se han propuesto cuatro diferentes vías, algunas de estas aún se encuentran en investigación, estas son: (I) vía vestíbulo-tálamo cortical, asociada a la representación espacial y distinción de movimiento entre uno mismo y el objeto; (II) vía desde el núcleo tegmental dorsal a través del núcleo mamilar lateral, núcleo anterodorsal del tálamo hasta la corteza entorrinal, que transmite información para estimar la dirección de la cabeza; (III) vía a través del núcleo reticularis pontis oralis, el núcleo supramamilar y tabique medial al hipocampo, que transmite información que respalda en el hipocampo el ritmo theta y la memoria; y

(IV) una posible vía a través del cerebelo y núcleo lateral ventral del tálamo (quizás a la corteza parietal), que transmite información para el aprendizaje espacial ²².

En los estudios corticales, se han mostrado múltiples regiones de la corteza cerebral que reciben señales aferentes del sistema vestibular, que son principalmente a través del tálamo. Sin embargo, como ya se ha expresado en el desarrollo de este trabajo, los conocimientos actualizados sobre cognición vestibular continúan siendo un conjunto de fenómenos conectados de manera poco clara ²⁵, por lo que, consideramos pertinente realizar una revisión narrativa que caracterice las funciones vestibulares superiores y su evaluación. A continuación, se describen algunas funciones vestibulares superiores.

Capacidad visuoespacial:

La capacidad visuoespacial es un término que describe cómo la mente organiza y comprende el espacio bidimensional y tridimensional. Incluyendo una variedad de habilidades como la memoria espacial, imágenes mentales, rotación, percepción de distancia y profundidad, navegación y construcción visuoespacial ²⁶.

Respecto a la memoria espacial, esta se define como una construcción compleja que requiere de información del entorno como la geometría, posición relativa, la distancia, el tamaño y la orientación y las coordenadas. Mientras que la navegación espacial se refiere a la capacidad de moverse a través del entorno de uno, relacionándose con la dirección de la cabeza y la integración de la ruta, esta última capacidad se evalúa haciendo que los sujetos se muevan a lo largo de trayectorias memorizadas o hacia objetos memorizados ²⁶.

Múltiples estudios realizados en los últimos años han demostrado que los pacientes con pérdida vestibular bilateral presentan déficits de memoria espacial y navegación espacial. Por ejemplo, Schautzer et al., en el año 2003 respaldan esta relación evaluando el rendimiento de pacientes con pérdida vestibular bilateral y controles sanos al realizar la tarea de *Morris water maze virtual* (vWMT). Esta consiste en

que el individuo debe navegar, utilizando un control de mando, en una piscina circular virtual, la cual contiene claves visuales en sus paredes circundantes, hacia una plataforma oculta ^{23,26}.

Al comparar los resultados obtenidos, Schautzer et al. concluyeron que los pacientes con deterioro vestibular bilateral tenían un peor desempeño ^{23,26}. Así mismo, ocurrió al comparar pacientes con neuritis vestibular unilateral compensada versus controles, al caminar por un cuadrado, círculo o triángulo memorizado con los ojos abiertos/cerrados. Estos resultados sugieren que la entrada vestibular alterada o ausente puede desencadenar un cambio en la representación mental del espacio tridimensional de un individuo ²⁶.

Brandt et al., en su estudio evidenció una disminución del volumen del hipocampo en asociación con una memoria espacial deteriorada en pacientes con pérdida vestibular bilateral. En contraste, en un estudio similar en pacientes con pérdida vestibular unilateral, sólo se encontró volúmenes más pequeños de la circunvolución temporal superior. Estos hallazgos sugieren una interrupción de las conexiones vestibulo-corticales tras una pérdida vestibular y se manifiestan como un deterioro de la capacidad visuoespacial y mental ²⁶.

Atención:

La pérdida vestibular bilateral también tiene como consecuencias disfunciones a nivel atencional, ya que las personas que la presentan deben utilizar más recursos cognitivos para mantener el equilibrio, lo que disminuye su capacidad cognitiva para otras funciones. Esto fue observado en diversos estudios sobre el paradigma de tareas duales, en que solicitaron realizar tareas de atención con condiciones desafiantes para el sistema vestibular y el control del equilibrio ^{23,25-26}.

Los resultados de estos estudios tuvieron una menor precisión y mayor latencia al compararlos con condiciones estables para la mantención del equilibrio. Este desempeño, podría estar asociado a las respuestas adaptativas que generan los individuos con déficits vestibulares, utilizando sus recursos cognitivos para dar prioridad a la mantención del equilibrio por sobre la ejecución de otras tareas ^{23,25-26}.

Para la evaluación de esta habilidad se ha considerado las actividades de la vida cotidiana, las cuales desafían al individuo con varias tareas en simultáneo (paradigma de tareas duales). Varios estudios recomiendan la evaluación de todos los sistemas que influyen en el equilibrio: sistema biomecánico, estrategias de movimiento (respuestas posturales automáticas y ajustes posturales anticipatorios), orientación en el espacio, control dinámico o estabilidad en la marcha, procesos cognitivos y estrategias sensoriales. Dentro de estas evaluaciones se encuentra: *The Functional Gait Assessment* y *The Balance Evaluation Systems Test (BesTest)*, siendo este último el más recomendado para detectar el riesgo de caída en los pacientes ²⁵.

Una prueba acotada y bastante útil es la prueba *Timed up and go (TUG)*, que permite evaluar la movilidad y riesgo de caídas. Consiste en medir el tiempo que la persona requiere para levantarse de una silla (sin utilizar los brazos), caminar una distancia específica (por ejemplo, tres metros) y regresar a su posición inicial ²⁵. A esta prueba, se le puede añadir dificultad al pedirle al paciente que mientras realiza la tarea TUG cuente de tres en tres partiendo del número cien (TUG cognitivo), así poder evaluar la atención. Jadue et al. y Smith et al., compararon el TUG vs el TUG matemático en adultos mayores chilenos y determinaron que el TUG con una tarea matemática aumenta significativamente el tiempo con que se realiza la tarea ^{25,27}.

Memoria:

La memoria espacial participa en varias áreas cerebrales, entre las cuales el hipocampo juega un papel importante en el almacenamiento transitorio y la consolidación de la memoria. Además, el hipocampo está involucrado en mapas cognitivos, orientación y tareas de memoria espacial (como la navegación en entornos conocidos), como se ha descrito anteriormente ²⁵.

Varios estudios han reportado asociaciones entre la función vestibular y funciones ejecutivas y memoria. Algunos de estos estudios realizados con pacientes con fístula linfática observaron un menor rendimiento en tareas de memoria auditiva y aprendizaje por asociación (de habilidades

visuoespaciales/visuoconstructivas en tareas de diseño de bloques), y de funciones ejecutivas. Además, existen publicaciones que vinculan la estimulación vestibular periférica a un cambio en el rendimiento de tareas asociadas al reconocimiento de caras, copias de figuras, entre otras ²³.

Claramente existe una relación entre la pérdida vestibular, deterioro cognitivo, pérdida de memoria y “*brainfog*” (término que hace referencia a desordenes cognitivos transitorios similares a una fatiga mental) ²⁸ en pacientes con vértigo y enfermedad vestibular. Por lo que se ha buscado medir esta habilidad mediante pruebas neuropsicológicas de atención y memoria, que incluye las memorias de corto y largo plazo, de trabajo y sensorial²³. Cancino et al., expusieron recientemente que en Chile se aplican diversos instrumentos de evaluación sobre el funcionamiento cognitivo en adultos mayores como el *Mini Mental State Examination* (MMSE), *Montreal Cognitive Assessment* (MoCA) y el Adenbrooke’s Cognitive Examination (ACE) ²⁹. A continuación se describen brevemente estos instrumentos.

El MMSE, creado por Marshal Folstein en 1975, es un instrumento de screening más utilizado para realizar el diagnóstico de demencia, es breve y de rápida aplicación. Evalúa la orientación, repetición inmediata, atención, cálculo, memoria y lenguaje. Este screening se encuentra modificado dentro del Examen de Medicina Preventiva del Adulto Mayor (EMPAM) en Chile. Sin embargo, se le asocian varias limitaciones: no evalúa las funciones ejecutivas, es poco sensible en los estadios iniciales del deterioro cognitivo y está influenciado por variables psicoeducativas, por lo que, no debe utilizarse por sí solo para confirmar o excluir la demencia (Creavin et al.) ^{29,30}.

Como alternativa, se publicó el test Moca en el año 2005, este cribado ha mostrado una gran eficiencia en la detección de los primeros indicativos de la disfunción cognitiva, como en la enfermedad de Alzheimer, Parkinson y otras alteraciones neurocognitivas. Evalúa funciones ejecutivas, habilidad visuoespacial, denominación, memoria, atención, lenguaje, abstracción, orientación y recuerdo diferido ²⁹. Su principal limitación, como lo mencionan Cancino et al., se basa en el requerimiento de algún grado de alfabetización, además, como lo mencionan Loureiro et al., se requieren adaptaciones transculturales

de la versión original del test de MoCA para la evaluación e intervención temprana de adultos mayores en América Latina ^{29,31}.

Adicional a estas herramientas, otra evaluación de demencia utilizada en la población chilena es el ACE. Esta medición considera 6 dominios cognitivos: orientación, atención, memoria, fluidez verbal, lenguaje y habilidad visuoespacial. En su versión revisada (ACE-R), su estructura incluye los ítems del MMSE y, posee la sensibilidad para discriminar entre demencia tipo Alzheimer y demencia frontotemporal. Su principal crítica se debe a su extensión, lo que podría dificultar su uso en la atención primaria o en el control de salud del adulto mayor ²⁹.

Lo anteriormente expuesto, deja la interrogante de cómo las funciones/disfunciones del sistema vestibular llegan se relacionan con funciones cognitivas. Ante esta interrogante Bigelow et al. proponen un modelo conceptual de los mecanismos involucrados en las disfunciones cognitivas que podrían ser generadas por alteraciones a nivel vestibular periférico ^{23,26}.

Como lo muestra la figura 12, se plantea que la disfunción vestibular podría conducir a una alteración de ciertas áreas corticales en que se involucra la red vestibular, incluido el hipocampo; y esto podría estar relacionado principalmente con trastornos de habilidades visuoespaciales y de memoria. A su vez, el aumento de la inestabilidad postural y de la mirada (consecuencia de una disfunción de los RVO) podrían asociarse a un incremento en los requerimientos atencionales asignados para mantener el equilibrio, lo que conlleva a una disminución de los recursos disponibles para otras tareas. Además, las comorbilidades pueden contribuir a la disfunción cognitiva ^{23,26}.

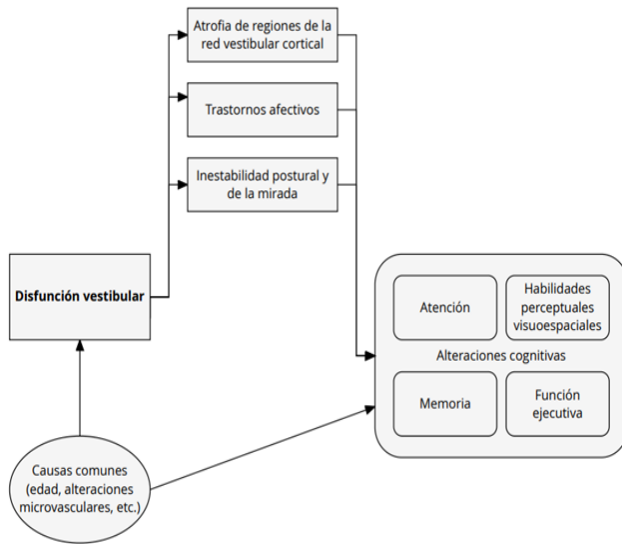


Figura 12. Mecanismo de la disfunción cognitiva debido a la disfunción vestibular, traducido. Modelo propuesto por Bigelow y Agrawal en 2015. Imagen obtenida de Vestibular involvement in cognition: Visuospatial ability, attention, executive function, and memory²⁶.

Trastornos de las funciones vestibulares superiores

El modelo propuesto por Bigelow et al., permite comprender que un trastorno cognitivo causado por una disfunción vestibular no solo puede manifestarse como alteraciones perceptivas, oculomotoras, posturales y vegetativas²⁶. Brandt et al., ante esta posible relación cognitiva-vestibular propusieron una categorización funcional del sistema vestibular que denominaron “funciones vestibulares superiores” y sus principales trastornos que se caracterizan por deficiencias perceptivas, sensoriomotoras y conductuales como la heminegligencia espacial, ilusión de inclinación de la habitación, síndrome del empujador y el deterioro de memoria espacial y navegación en pacientes con déficit vestibular bilateral¹⁵.

Además, expusieron las posibles similitudes y diferencias con los trastornos visuales superiores. En relación a trastorno, “el sitio de la lesión se encuentra dentro de la corteza visual y su sintomatología surge de esa disfunción”, mientras que un trastorno vestibular superior donde el sitio de lesión puede tanto en la red vestibular cortical como en el circuito vestibular subcortical, inclusive en los órganos vestibulares periféricos. Adicionalmente, hicieron la distinción de que los trastornos vestibulares pueden implicar la disfunción de otras modalidades sensoriales, por lo que, un mismo trastorno puede

denominarse a la vez como vestibular y visual, por ejemplo ¹⁵. A continuación, se describirán algunas enfermedades que se manifiestan como alteración de funciones vestibulares superiores.

Heminegligencia espacial (spatial hemineglect)

La heminegligencia espacial es un trastorno de la atención y orientación espacial, como consecuencia de un daño cerebral que ocurre frecuentemente en la región temporoparietal del hemisferio derecho, estructura clave de la red vestibular cortical. Este trastorno consiste en la desatención a los estímulos presentados en el campo visual contrario a la lesión (en este caso, el campo visual izquierdo). Es decir, el individuo adquiere una conciencia defectuosa del espacio ubicado en el campo visual contrario a la lesión^{15,18,33}, como lo muestra la figura 13.

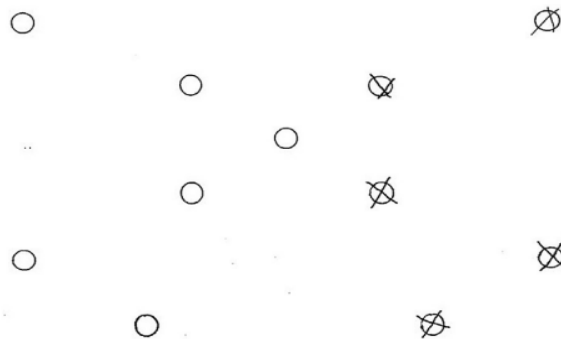


Figura 13. Tarea de cancelación de círculos en paciente con heminegligencia espacial. Se puede visualizar que el paciente no puede explorar el lado izquierdo de la pantalla, por lo que, no tacha los círculos del lado izquierdo. Imagen obtenida de “Unilateral Spatial Neglect”³⁴.

Los pacientes afectados pueden tener campos visuales conservados, pero espontáneamente dirigen su atención espacial, los movimientos de ojos y la cabeza al hemicampo ipsilateral, lo que conlleva a un descuido visuoespacial de los estímulos en el hemicampo contralateral. Los estudios en pacientes con este trastorno visuoespacial proporcionan evidencia de que algunas de las áreas corticales involucradas son regiones centrales de la red vestibular multisensorial como la corteza temporal superior,

la ínsula, la unión temporoparietal, y la circunvolución frontal media y el surco intraparietal posterior^{21,24,25}.

Las pruebas de comportamiento para la negligencia suelen incluir bisección de línea, pruebas de cancelación, dibujo y lectura (Chatterjee et al.). Otras evaluaciones incluyen pruebas de extinción y pruebas experimentales como pruebas de reacción a objetivos en el espacio (Robertson et al.). Por ejemplo, en la tarea de cancelación, se le pide al paciente que marque los estímulos objetivo (pueden ser círculos, como la figura 13) distribuidos en una página, el objetivo es la visualización de omisiones de objetivos en el lado contralesional e indica negligencia ³².

Respecto al tratamiento, muchos estudios conductuales han intentado superar los déficits lateralizados mediante la estimulación sensorial o privación sensorial (Chatterjee et al., Pierce et al.). En relación a la estimulación sensorial, se ha intentado aumentar la excitación usando un tono auditivo emparejado con una orden verbal que instruye a los pacientes a prestar atención justo antes de la aparición del estímulo en el espacio contralateral (Robertson et al.). Luego, se entrenó a los pacientes para que se alertarán a sí mismos de manera sub-vocal. Obteniendo mejoras en la atención sostenida y la negligencia espacial lateralizada ³².

Además, existen hallazgos interesantes sobre la estimulación vestibular calórica en pacientes con heminegligencia espacial, en los que se irriga con agua fría el oído contrario a la lesión, al observar mejoras transitorias y significativas en el funcionamiento espacial (Rubens, 1985) ^{35,36}. Gainotti explica que (I) la estimulación vestibular aumenta el nivel de atención selectiva asignado a las partes del cuerpo y del espacio extrapersonal, y (II) los movimientos oculares hacia la mitad del espacio ignorado permite una mejor exploración visual y, orienta la atención hacia ese espacio. Sin embargo, los efectos de la estimulación calórica están limitados a la duración del entrenamiento ³⁵⁻³⁶.

En relación a los estudios anteriores, otros investigadores también han encontrado que la estimulación optocinética, fuertes vibraciones en los músculos del cuello contralesional del cuerpo, la

rotación del tronco hacia el espacio contralesional tienden a mejorar la orientación y la atención contralesional con cierto éxito. Pero al igual que la estimulación calórica, no se han logrado beneficios a largo plazo. Como alternativa, se han utilizado lentes prisma que desplazan el campo visual hacia la derecha para tratar la negligencia. Los prismas hacen que los sujetos alcancen incorrectamente los objetivos hacia la derecha, pero eventualmente aprenden a corregir la trayectoria de alcance (adaptación del prisma). Sesiones de 20 min de adaptación del prisma, dos veces al día, durante 2 semanas mejoran el rendimiento en pacientes con negligencia hasta por 17 semanas. Los estudios sugieren que la adaptación al prisma puede facilitar la recuperación después del tratamiento ³⁵.

Ilusión de inclinación de la habitación (Room Tilt Illusion)

La ilusión de inclinación de la habitación es una “ilusión” transitoria (de segundos o minutos, excepcionalmente horas) en la que toda la habitación, incluido el observador, está inclinada o incluso invertida en el plano coronal o sagital, sin ninguna alteración del objeto respecto a el color, la forma, el tamaño o la posición relativa ¹⁵.

La orientación espacial de la escena visual está mediada tanto por señales vestibulares como visuales, estas señales permiten el ajuste de la verticalidad en el entorno en 3D al (I) entregar pistas sobre la orientación vertical en coordenadas tridimensionales y (II) al hacer coincidir a nivel cortical, es decir, a nivel de la corteza visual y red cortical vestibular, la orientación de la escena visual con las coordenadas espaciales vestibulares en tres dimensiones con el fin de determinar percepción egocéntrica única de derecha a izquierda, arriba y abajo y, adelante y atrás ¹⁵.

Este trastorno refleja un desajuste transitorio de las coordenadas del mapa tridimensional visual y vestibular que ocurren en pasos de 90° o 180°, como muestra la figura 14, como consecuencia de una lesión principalmente vestibular, que ocurren a nivel subcorticales, en el tronco encefálico o aparato vestibular periférico, como por ejemplo, la insuficiencia vestibular bilateral o la enfermedad de Ménière. En otras palabras, la percepción errónea de la escena visual es un trastorno vestibular ^{15,16}.

Sin embargo, el papel que juegan las cortezas visual y vestibular y sus interacciones en el mecanismo fisiopatológico sigue sin estar claro ^{15,16}.

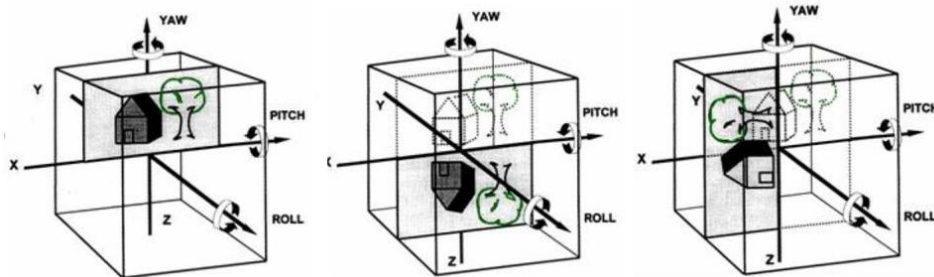


Figura 14. Representación esquemática de la cabeza como un cubo con la coincidencia cortical de los mapas tridimensionales vestibulares y visuales. Los tres planos principales de acción del sistema vestibular son el frontal “roll”, horizontal “yaw” y sagital “pitch” sobre los ejes x, y y z, respectivamente. (A) La escena visual coincide con las coordenadas vestibulares; (B) ilusión de inclinación de la habitación con escena visual inclinada 180° en el plano pitch (visión al revés); y (C): ilusión de inclinación de la habitación con una inclinación de 90° en el plano roll. Imagen obtenida y modificada de “Towards a concept of disorders of higher vestibular function” ¹⁵.

Síndrome del empujador (Pusher Syndrome)

Este trastorno se caracteriza por una inclinación aparente de la posición corporal percibida en el espacio, ya que constantemente se intenta contrarrestar empujando o inclinando su cuerpo (brazo o pierna no paréticos) hacia el lado contrario a la lesión. Se ha propuesto que la lesión afecta al tálamo y, seguramente, la parte posterior de la ínsula, es decir, afecta a la red vestibular multisensorial ¹⁶.

Es observable, según terapeutas, una frecuente relación entre el comportamiento del empujador con la dominancia vestibular hemisférica, ya que la recuperación de pacientes con una lesión en el hemisferio derecho es más lenta, a diferencia de una lesión en el hemisferio izquierdo ¹⁶.

Deterioro de la memoria espacial y navegación asociada a la atrofia del hipocampo en una pérdida vestibular bilateral periférica

Los trastornos vestibulares periféricos también pueden causar déficit en la FVS como el deterioro de la memoria espacial, la orientación y la navegación, así como atrofia del hipocampo. Los estudios con roedores han demostrado que la función vestibular intacta es importante para la memoria espacial y la navegación, ya que se requiere de una actualización continua del modelo del entorno y de la relación del individuo con el entorno aloentróico, coordenadas basadas en información entregada por el sistema visual y vestibular ¹⁶.

La atrofia del hipocampo puede afectar formas complejas de procesamiento de la memoria espacial, mientras que las demás funciones no espaciales permanecen bien conservadas. A pesar de que la pérdida vestibular bilateral es un trastorno periférico, la memoria espacial, la orientación y la navegación son síntomas vestibulares superiores adicionales, es decir, consecuencias cognitivas de la entrada vestibular ausente ¹⁵. A pesar de que aún no se ha probado con eficacia los programas de rehabilitación para déficit de memoria espacial, los pacientes con pérdida vestibular bilateral se benefician de la terapia ¹⁶.

Mareo postural perceptual persistente

El mareo postural perceptual persistente (MPPP o PPPD), es una afección reciente que se agregó a la Clasificación internacional de trastornos vestibulares el año 2017. Este trastorno funcional se caracteriza por los siguientes síntomas: mareos, inestabilidad o vértigo no rotatorio exacerbado por la postura erguida, el movimiento activo o pasivo y la exposición a estímulos visuales en movimiento o patrones visuales complejos, estos persisten durante tres meses o más. El diagnóstico del MPPP se basa en el relato sintomático del paciente y en 5 criterios diagnósticos que deben cumplirse, ver tabla 2 en anexos ³⁷.

Esta condición, a menudo, es precipitada por trastornos vestibulares (25 a 30%), ataques de migraña vestibular (15 a 20%), ataques de pánico o ansiedad que manifiestan mareos prominentes (15 % cada uno), lesiones de conmoción cerebral o lesiones por latigazo cervical del cuello (10 a 15%) y trastornos autonómicos (7%). Aunque cualquier trastorno que provoque un episodio de mareo puede ser un desencadenante. Estudios han demostrado que el 25% de las personas que han sufrido una afección vestibular aguda o episódica, como el vértigo posicional paroxístico benigno, desarrollan mareos similares a los de MPPP³⁷.

Los investigadores han propuesto procesos fisiopatológicos aplicables a MPPP, que incluyen rasgos de personalidad relacionados con ansiedad. A continuación, se mencionan estos mecanismos: alteraciones en las estrategias de control postural, los cambios en la integración multisensorial, la integración cortical reducida de la orientación espacial (función vestibular superior) y las redes de evaluación de amenazas. En relación con estos mecanismos, se desafía a los profesionales a investigarlos en pacientes que cumplen con el diagnóstico específico de MPPP³⁷. Adicionalmente, se ha planteado que se originaría de una mala adaptación crónica a distintos eventos que gatillan síntomas vestibulares, incluyéndose dentro del espectro de los trastornos funcionales³⁸.

Epilepsia vestibular

Este subtipo de epilepsia, “se caracteriza por convulsiones focales con síntomas vestibulares como característica predominante o única”(Hewett et al.). Los síntomas son variables, como un desequilibrio leve o un vértigo franco en cualquier plano de estimulación (*yaw, roll, tilt or lineal*), resultando raro que solo se presenten síntomas vestibulares. Adicionalmente, se acompaña con frecuencia de náuseas, vómitos y tinnitus (Brand; Hewett et al.). Los estudios sobre epilepsia vestibular han documentado parestesias ipsi y contralaterales, alucinaciones olfativas y gustativas, despersonalización, malestar epigástrico, ansiedad, deja-vu, entre otros síntomas (Kogeorgos et al.)³⁹.

Material y Métodos

El presente trabajo corresponde a una revisión no sistemática o revisión narrativa de carácter teórico y transversal que pretende proporcionar una descripción sintetizada de la literatura publicada sobre las funciones vestibulares superiores y sus evaluaciones. Por lo que, se realizó una búsqueda bibliográfica exhaustiva y reproducible en bases de datos científicas electrónicas y consultas bibliográficas, cuyas publicaciones se realizaron entre el año 2010 y el primer semestre del año 2022; y su idioma fuera en español o inglés.

Se utilizaron bases de datos como Pubmed, Scielo, Elsevier, Google Scholar y otras fuentes académicas (como el portal de libros de bibliografía básica proporcionado por la Universidad de Chile) para buscar publicaciones durante el periodo comprendido entre abril y junio de este año. La selección de artículos se hizo a partir de palabras clave individuales o combinadas usando los operadores booleanos Y (AND) o O(OR).

Estas palabras claves son: *“fisiología vestibular”, “sistema vestibular”, “funciones vestibulares elevadas”, “funciones vestibulares superiores”, “neurofisiología vestibular”, “neurofisiología del sistema vestibular”, “cognición vestibular”, “evaluacion de funciones vestibulares superiores”, “cognición vestibular” y “evaluación de funciones vestibulares superiores”, “vestibular physiology”, “vestibular system”, “superior vestibular function”, “higher vestibular functions”, “vestibular cognition” y “highet vestibular function evaluation”*.

Además, se incluyeron algunos artículos utilizados para la elaboración de la bibliografía seleccionada. Luego de revisar cada una de las publicaciones seleccionadas, se clasificaron de acuerdo con que si proporcionaban información del sistema vestibular periférico, sistema vestibular central o sistema vestibular superior. Para posteriormente, desarrollar una redacción descriptiva de esta información de forma clara y concisa, según nuestros objetivos.

Los principales aspectos analizados en esta revisión fueron, por una parte, definir y/o caracterizar las funciones vestibulares superiores propuestos en la literatura hasta el primer semestre del año 2022, por otro lado, describir su evaluación con la intención de poder discutir su aplicabilidad en el servicio de salud en Chile.

Discusión y conclusión

Si bien tras la estimulación vestibular se inicia una cascada de aferencias que se proyectan por las vías neuronales vestibulares, se pueden generar distintos tipos de respuestas motoras y sensoriales. Algunas de estas, corresponden a mecanismos reflejos de bajo orden (por ejemplo, el RVO), mientras que otras se relacionan con funciones de orden superior, incluida la percepción (a nivel cortical). Respecto a las funciones vestibulares de orden superior, estas se reflejan en la percepción vestibular ³.

Como lo expresa Brandt et al., las aferencias provenientes de los receptores laberínticos se proyectan hasta los núcleos motores oculares para mediar el RVO. Una vez que las fibras alcanzan los centros supranucleares de coordinación ojo-cabeza, en el tronco encefálico a nivel pontomesencefálico y el tálamo, estas se proyectan en distintas áreas de la corteza temporoparietal e ínsula posterior para mecanismos de alto orden, en que entra en juego la cognición o los sentidos no vestibulares ¹⁵.

Tanto Seemungal et al. cómo Brand et al., concuerdan en que el sistema vestibular tiene una función superior relacionada íntimamente con mecanismos cognitivos. Esta red se establece en distintas áreas de la corteza cortical, que en conjunto se denominan corteza vestibular en analogía con otras cortezas sensoriales. Sin embargo, esta red aún no está del todo clara y tiene peculiaridades que requieren especial atención para poder caracterizar las funciones vestibulares superiores ^{3,15}.

Estas características se basan en que el sistema vestibular tiene una naturaleza multisensorial-multimodal, que contribuyen a, la corteza vestibular, o más bien, las redes talamocorticales. En relación con su naturaleza, se hace referencia a la convergencia de información que ocurre en varios puntos de relevo y en la corteza, que reciben información vestibular, visual y propioceptiva-somatosensorial con el fin de entregar pistas, ambiguas o redundantes, sobre la orientación del individuo respecto al espacio

Como lo expresa Clements et al., por ejemplo, la orientación de la cabeza en el espacio resulta de estimaciones otorgadas tanto por el sistema vestibular como propioceptivo. Este último entrega una combinación de estimaciones respecto a la cabeza y el cuerpo en el espacio entregado por los sensores del cuello. Cuando existen fuentes de información redundantes, se realiza una inferencia estadística denominada integración multisensorial. De esta forma, se reduce la incertidumbre sobre las estimaciones internas del estado del cuerpo y del mundo ⁴⁰.

Esta convergencia multisensorial, por otra parte, vincula la red vestibular central organizada bilateralmente con estructuras de la corteza límbica, del hipocampo, del cerebelo y cortezas no vestibulares para mediar funciones cognitivas superiores como lo son la capacidad visuoespacial, la atención, la memoria, cognitivo-afectivas, entre otras. Esto se ha evidenciado en varios estudios que relacionan los déficits vestibulares con la alteración de estas funciones, como ya se ha mencionado en el desarrollo de este trabajo ^{4,41}.

Lo que enfatiza el papel de la amplia conectividad que presenta el tálamo que integra información multisensorial a través de diversas redes corticales, tanto como centro provincial y centro conector, entre ellas las redes funcionales cognitivas superiores. Más aún, mostrando ventajas anatómicas para la operación en simultáneo de los dos hemisferios cerebrales, que se refleja en la presencia de dos sistemas de referencia: sistema egocéntrico y sistema allocéntrico ⁴.

Por consiguiente, es lógico pensar que las respuestas reflejas y perceptivas desencadenadas por un mismo estímulo son concordantes. Sin embargo, la plasticidad del sistema nervioso central ofrece una variada gama de respuestas reflejándose, en relación con el sistema vestibular, en el desacoplamiento de la percepción vestibular con el RVO, tanto a nivel fisiológico como patológico. Esto es observable en pacientes con trastornos vestibulares crónicos donde se puede obtener una respuesta normal en el RVO con una evidente alteración de la percepción (Palla et al.) y en bailarines de ballet (Nigmatulina et al.)³.

Además, se propuso un posible procesamiento diferencial de las señales reflexivas y perceptuales por parte del cerebelo. En relación con esto, Shaikh et al., evidenciaron que la modulación farmacológica afectaba de manera diferente las funciones vestibulares, coincidiendo con la idea de que existen diferentes vías cerebelosas que modulan la percepción y el reflejo vestibular. En suma, Brooks et al., sugieren que las estrategias terapéuticas que modulan la plasticidad cerebelosa, como la adaptación, deberían mejorar los síntomas del mareo crónico (percepción vestibular)³.

Los datos de estudios adicionales combinan el entrenamiento específico pro-adaptación con medicamentos (que mejoran la plasticidad neural) pueden ser vías terapéuticas prometedoras. Adicionalmente, se desafía a tener un seguimiento del plan terapéutico que no sólo evalúe el RVO con una prueba estándar, sino que incluya la medición de la percepción vestibular (Seemungal)³.

Lo anteriormente expuesto, nos hace pensar lo siguiente: (I) no todo relato sobre desequilibrio podría tener un compromiso de los reflejos que evaluamos (como el RVO), (II) se requiere de una evaluación adicional a la batería de exámenes utilizados normalmente, que mida la percepción y (III) la rehabilitación vestibular puede ser una buena herramienta para la alteración de las funciones vestibulares superiores, adicionalmente, se podría necesitar un seguimiento control perceptual junto a los controles de esta terapia.

Respecto a las funciones vestibulares superiores, se relacionan con procesos cognitivos y de memoria que van desde la memoria espacial, la orientación y la cognición hasta la representación corporal y los cambios de personalidad y los síntomas de desrealización⁴. Por lo que, evaluaciones sobre la orientación espacial podrían sugerir pistas de un desajuste sensorial vestibular sobre todo en pacientes que han mostrado dificultad para orientarse en entornos familiares, desplazarse de un lugar a otro o incluso de encontrar el camino a casa⁶.

Una evaluación que podría ser de gran utilidad sería la versión en español del MoCA, ya que ha demostrado tener una alta sensibilidad y especificidad en la población chilena para la detección de

pacientes con deterioro cognitivo leve, que a menudo están dentro de rangos normales en el MMSE. Además, es una prueba de fácil administración con una duración de aproximadamente 10 minutos (Delgado et al.). En relación con su disponibilidad, se encuentra en su versión en español en la página “mocatest.org”, ver en anexos ⁴²⁻⁴³.

En consideración al párrafo anterior, es importante validar este método y estandarizar a la población chilena. Si bien ya existen algunos estudios al respecto, normalizar esta prueba proporcionaría resultados comparables en los laboratorios de otoneurología, contribuyendo al conocimiento sobre la función vestibular.

Respecto a pruebas ya implementadas dentro de la batería vestibular, la prueba visual subjetiva vertical (SVV, por sus siglas en inglés) es el estudio de la función vestibular estática mediante la evaluación de los órganos otolíticos (predominantemente el utrículo), que contribuyen a la representación interna de la vertical subjetiva ⁴⁴⁻⁴⁵.

Este estudio sobre la orientación corporal en el espacio requiere que el paciente se posicione en un escenario libre de pistas visuales para presentar una línea que debe rotar hasta llevarla a la posición que considera una vertical perfecta, resultados que se evalúan en grados, siendo -2.5° y 2.5° los rangos de normalidad. A pesar de que existen muchas herramientas para evaluar la SVV, clásicamente se realiza con una cámara oscura utilizando un domo y una línea luminosa ⁴⁴⁻⁴⁵.

Frecuentemente, las inclinaciones del SVV se deben a déficits vestibulares, aunque también hay que tener en consideración las lesiones cerebelosas. Respecto a lo primero, se puede tener una idea del lugar de la lesión al integrar los resultados de la prueba con la vía graviceptiva. Sin embargo, es más difícil demostrar lesiones unilaterales en el tálamo o áreas de la corteza vestibular pueden presentar una inclinación más pequeña de la SVV ipsi o contralateral. Las lesiones cerebelosas, por su parte, pueden durar varios meses o años al existir daño en las estructuras para la compensación y recalibración ⁴⁵.

Respecto a los trastornos de las funciones vestibulares superiores, se ha observado inclinaciones de la SVV tanto en la heminegligencia espacial como en el síndrome del empujador. Lo que nos lleva a comprender lo importante que es la integración multisensorial en el sistema vestibular ⁴⁵.

En conclusión, a pesar de que existe poca información acerca de las funciones vestibulares superiores, estas son esenciales para el desarrollo y desenvolvimiento del ser humano. Por lo que, representa un desafío para todos aquellos profesionales especialistas en el área de otorrinolaringología, en especial para los tecnólogos médicos, quienes evalúan frecuentemente a pacientes con alteraciones vestibulares.

Este desafío no solo implica adentrarse en este tema innovador, sino que promueve el desarrollo y/o implementación de herramientas para medir la percepción vestibular, lo que conlleva a diversos estudios en la población chilena, entre ellos, la validación y estandarización de las evaluaciones pertinentes al tema. Asimismo, dados los relatos sintomáticos de los pacientes y la peculiar naturaleza multisensorial del sistema vestibular, que involucra diferentes dominios cognitivos desde la capacidad visuoespacial hasta dominios afectivos, podría ser necesario la implementación de terapias integrales en pos de una atención eficaz y oportuna para los pacientes que finalmente son el reflejo de un procesamiento superior que requiere encarecidamente de la convergencia de información.

Referencias bibliográficas

1. Chabbert C. Anatomía y fisiología del vestíbulo. EMC - Otorrinolaringología. 2016 Aug 1;45(3):1–9.
2. Albernaz PLM, Zuma e Maia F, Carmona S, Cal RVR, Zalazar G. The New Neurotology. The New Neurotology. 2019;
3. Seemungal BM. The cognitive neurology of the vestibular system. Curr Opin Neurol [Internet]. 2014 Feb [cited 2022 Jul 5];27(1):125–32. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24335799/>
4. Brandt T, Dieterich M. Thalamocortical network: A core structure for integrative multimodal vestibular functions. Current Opinion in Neurology [Internet]. 2019 Feb 1 [cited 2022 Jul 5];32(1):154–64. Available from: https://journals.lww.com/co-neurology/Fulltext/2019/02000/Thalamocortical_network__a_core_structure_for.25.aspx
5. Baloh RW (Robert W, Kerber KA. Clinical neurophysiology of the vestibular system. 2011 [cited 2022 Jul 5];455. Available from: https://books.google.com/books/about/Baloh_and_Honrubia_s_Clinical_Neurophysi.html?hl=es&id=i2riBwAAQBAJ
6. Haines D, Mihailoff G, Cunningham W, Schenk M. Principios de Neurociencia: aplicaciones básicas y clínicas. 5th ed. Elsevier, editor. España ; 2019.
7. Lévêque M, Seidermann L, Ulmer E, Chays A. Fisiología vestibular: bases anatómicas, celulares, inmunohistoquímicas y electrofisiológicas. EMC - Otorrinolaringología. 2009 Jan 1;38(4):1–15.

8. Kingma H, van de Berg R. Anatomy, physiology, and physics of the peripheral vestibular system. *Handbook of Clinical Neurology*. 2016 Jan 1;137:1–16.
9. Ewald J. Physiologische untersuchungen ueber das endorgan des nervus octavus. Wiesbaden : J. F. Bergmann,; 1892.
10. Curthoys IS. The new vestibular stimuli: sound and vibration—anatomical, physiological and clinical evidence. *Experimental Brain Research* 2017 235:4 [Internet]. 2017 Jan 27 [cited 2022 Jul 6];235(4):957–72. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00221-017-4874-y>
11. Barmack NH. Central vestibular system: vestibular nuclei and posterior cerebellum. *Brain Research Bulletin*. 2003 Jun;60(5–6):511–41.
12. Cullen KE. Physiology of central pathways. In 2016. p. 17–40.
13. Bouccara D, Sémont A, Sterkers O. Rehabilitación vestibular. *EMC - Otorrinolaringología*. 2016 Feb 1;45(1):1–8.
14. Dieterich M, Brandt T. The bilateral central vestibular system: its pathways, functions, and disorders. *Ann N Y Acad Sci*. 2015 Apr;1343(1):10–26.
15. Dieterich M, Brandt T. Global orientation in space and the lateralization of brain functions. *Current Opinion in Neurology*. 2018 Feb;31(1):96–104.
16. Lopez C. Vestibular Cortex. In: *Brain Mapping*. Elsevier; 2015. p. 305–12.
17. Brandt T, Dieterich M. The dizzy patient: don't forget disorders of the central vestibular system. *Nature Reviews Neurology*. 2017 Jun 21;13(6):352–62.

18. Ibitoye RT, Mallas EJ, Bourke NJ, Kaski D, Bronstein AM, Sharp DJ. The human vestibular cortex: functional anatomy of OP2, its connectivity and the effect of vestibular disease. *Cerebral Cortex*. 2022 Mar 2;
19. Hitier M, Besnard S, Smith PF. Vestibular pathways involved in cognition. *Frontiers in Integrative Neuroscience*. 2014 Jul 23;8.
20. Faúndez A JP, Délano R P. Asociaciones entre función vestibular y habilidades cognitivas: Un enfoque básico-clínico. *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello*. 2019 Dec;79(4):453–64.
21. Ferrè ER, Harris LR. Introduction to Vestibular Cognition Special Issue: Progress in Vestibular Cognition. *Multisensory Research*. 2015;28(5–6):393–6.
22. Brandt T, Strupp M, Dieterich M. Towards a concept of disorders of higher vestibular function. *Frontiers in Integrative Neuroscience*. 2014 Jun 2;8.
23. Donoso S, Novoa I. Integración del sistema vestibular en los centros superiores. *Revista Chilena de Neuro-Psiquiatría*. 2019;19–24.
24. Bigelow RT, Agrawal Y. Vestibular involvement in cognition: Visuospatial ability, attention, executive function, and memory. *Journal of Vestibular Research*. 2015 Jun 2;25(2):73–89.
25. Jadue M, Jara J, Kettlun C. COMPARACIÓN ENTRE LOS TIPOS DE TAREAS COGNITIVAS MEDIDA A TRAVÉS DEL TEST TIMED UP AND GO EN SUJETOS DE 60 A 85 AÑOS DE ÑUÑO A. [Santiago]: Universidad Finis Terrae ; 2017.

26. CANCINO M, REHBEIN L, GÓMEZ-PÉREZ D, ORTIZ MS. Evaluación de funcionamiento cognitivo en adultos: Análisis y contrastación de tres de los instrumentos de mayor divulgación en Chile. *Revista médica de Chile*. 2020 Apr;148(4):452–8.
27. Creavin ST, Wisniewski S, Noel-Storr AH, Trevelyan CM, Hampton T, Rayment D, et al. Mini-Mental State Examination (MMSE) for the detection of dementia in clinically unevaluated people aged 65 and over in community and primary care populations. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2016 Jan 13;
28. Loureiro C, García C, Adana L, Yacelga T, Rodríguez-Lorenzana A, Maruta C. Uso del test de evaluación cognitiva de Montreal (MoCA) en América Latina: revisión sistemática. *Revista de neurología* . 2018;397–408.
29. Rode G, Pagliari C, Huchon L, Rossetti Y, Pisella L. Semiology of neglect: An update. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2017 Jun;60(3):177–85.
30. Vallar G, Ronchi R. Unilateral Spatial Neglect. In: *Encyclopedia of Behavioral Neuroscience*, 2nd edition. Elsevier; 2022. p. 605–18.
31. Estévez Á, Fuentes L. Negligencia visual unilateral: (II) Rehabilitación . *Psicología Conductual* . 1999;7(1):5–25.
32. Cappa S, Sterzi R, Vallar G, Bisiach E. Remission of hemineglect and anosognosia during vestibular stimulation. *Neuropsychologia*. 1987 Jan;25(5):775–82.
33. Falta poner el de David ZEE, "The Neurology of eye movements" Más arriba pongo el lugar en que va (pág 21) capítulo 2 y 4

1. Chabbert C. Anatomía y fisiología del vestíbulo. EMC - Otorrinolaringología. 2016 Aug 1;45(3):1–9.
2. Albernaz PLM, Zuma e Maia F, Carmona S, Cal RVR, Zalazar G. The New Neurotology. The New Neurotology. 2019;
3. Seemungal BM. The cognitive neurology of the vestibular system. Curr Opin Neurol [Internet]. 2014 Feb [cited 2022 Jul 5];27(1):125–32. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24335799/>
4. Brandt T, Dieterich M. Thalamocortical network: A core structure for integrative multimodal vestibular functions. Current Opinion in Neurology [Internet]. 2019 Feb 1 [cited 2022 Jul 5];32(1):154–64. Available from: https://journals.lww.com/co-neurology/Fulltext/2019/02000/Thalamocortical_network__a_core_structure_for.25.aspx
5. Baloh RW (Robert W, Kerber KA. Clinical neurophysiology of the vestibular system. 2011 [cited 2022 Jul 5];455. Available from: https://books.google.com/books/about/Baloh_and_Honrubia_s_Clinical_Neurophysi.html?hl=es&id=i2riBwAAQBAJ
6. Haines D, Mihailoff G, Cunningham W, Schenk M. Principios de Neurociencia: aplicaciones básicas y clínicas. 5th ed. Elsevier, editor. España ; 2019.
7. Lévêque M, Seidermann L, Ulmer E, Chays A. Fisiología vestibular: bases anatómicas, celulares, inmunohistoquímicas y electrofisiológicas. EMC - Otorrinolaringología. 2009 Jan 1;38(4):1–15.
8. Kingma H, van de Berg R. Anatomy, physiology, and physics of the peripheral vestibular system. Handbook of Clinical Neurology. 2016 Jan 1;137:1–16.
9. Ewald J. Physiologische untersuchungen ueber das endorgan des nervus octavus. Wiesbaden : J. F. Bergmann,; 1892.
10. Curthoys IS. The new vestibular stimuli: sound and vibration—anatomical, physiological and clinical evidence. Experimental Brain Research 2017 235:4 [Internet]. 2017 Jan 27 [cited 2022 Jul 6];235(4):957–72. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00221-017-4874-y>
11. Barmack NH. Central vestibular system: vestibular nuclei and posterior cerebellum. Brain Research Bulletin. 2003 Jun;60(5–6):511–41.
12. Cullen KE. Physiology of central pathways. In 2016. p. 17–40.
13. Bouccara D, Sémont A, Sterkers O. Rehabilitación vestibular. EMC - Otorrinolaringología. 2016 Feb 1;45(1):1–8.

14. Leigh R, Zee D. The neurology of eye movements. 5th ed. Oxford University Press, editor. New York ; 2015.
15. Brandt T, Strupp M, Dieterich M. Towards a concept of disorders of higher vestibular function. *Frontiers in Integrative Neuroscience*. 2014 Jun 2;8.
16. Brandt T, Dieterich M. The dizzy patient: don't forget disorders of the central vestibular system. *Nature Reviews Neurology*. 2017 Jun 21;13(6):352–62.
17. Dieterich M, Brandt T. The bilateral central vestibular system: its pathways, functions, and disorders. *Ann N Y Acad Sci*. 2015 Apr;1343(1):10–26.
18. Dieterich M, Brandt T. Global orientation in space and the lateralization of brain functions. *Current Opinion in Neurology*. 2018 Feb;31(1):96–104.
19. Lopez C. Vestibular Cortex. In: *Brain Mapping*. Elsevier; 2015. p. 305–12.
20. Ibitoye RT, Mallas EJ, Bourke NJ, Kaski D, Bronstein AM, Sharp DJ. The human vestibular cortex: functional anatomy of OP2, its connectivity and the effect of vestibular disease. *Cerebral Cortex*. 2022 Mar 2;
21. Huberle E, Brugger P. Altered time judgements highlight common mechanisms of time and space perception. *Cognitive Neuropsychology*. 2018 Nov 17;35(8):458–70.
22. Hitier M, Besnard S, Smith PF. Vestibular pathways involved in cognition. *Frontiers in Integrative Neuroscience*. 2014 Jul 23;8.
23. Faúndez A JP, Délano R P. Asociaciones entre función vestibular y habilidades cognitivas: Un enfoque básico-clínico. *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello*. 2019 Dec;79(4):453–64.
24. Ferrè ER, Harris LR. Introduction to Vestibular Cognition Special Issue: Progress in Vestibular Cognition. *Multisensory Research*. 2015;28(5–6):393–6.
25. Donoso S, Novoa I. Integración del sistema vestibular en los centros superiores. *Revista Chilena de Neuro-Psiquiatría*. 2019;19–24.
26. Bigelow RT, Agrawal Y. Vestibular involvement in cognition: Visuospatial ability, attention, executive function, and memory. *Journal of Vestibular Research*. 2015 Jun 2;25(2):73–89.
27. Jadue M, Jara J, Kettlun C. COMPARACIÓN ENTRE LOS TIPOS DE TAREAS COGNITIVAS MEDIDA A TRAVÉS DEL TEST TIMED UP AND GO EN SUJETOS DE 60 A 85 AÑOS DE ÑUÑO. [Santiago]: Universidad Finis Terrae ; 2017.
28. Ross AJ, Medow MS, Rowe PC, Stewart JM. What is brain fog? An evaluation of the symptom in postural tachycardia syndrome. *Clinical Autonomic Research*. 2013 Dec 3;23(6):305–11.

29. CANCINO M, REHBEIN L, GÓMEZ-PÉREZ D, ORTIZ MS. Evaluación de funcionamiento cognitivo en adultos: Análisis y contrastación de tres de los instrumentos de mayor divulgación en Chile. *Revista médica de Chile*. 2020 Apr;148(4):452–8.
30. Creavin ST, Wisniewski S, Noel-Storr AH, Trevelyan CM, Hampton T, Rayment D, et al. Mini-Mental State Examination (MMSE) for the detection of dementia in clinically unevaluated people aged 65 and over in community and primary care populations. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2016 Jan 13;
31. Loureiro C, García C, Adana L, Yacelga T, Rodríguez-Lorenzana A, Maruta C. Uso del test de evaluación cognitiva de Montreal (MoCA) en América Latina: revisión sistemática. *Revista de neurología* . 2018;397–408.
32. Mennemeier M. Hemispatial Neglect. In: *Encyclopedia of Clinical Neuropsychology*. New York, NY: Springer New York; 2011. p. 1229–30.
33. Rode G, Pagliari C, Huchon L, Rossetti Y, Pisella L. Semiology of neglect: An update. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2017 Jun;60(3):177–85.
34. Vallar G, Ronchi R. Unilateral Spatial Neglect. In: *Encyclopedia of Behavioral Neuroscience*, 2nd edition. Elsevier; 2022. p. 605–18.
35. Estévez Á, Fuentes L. Negligencia visual unilateral: (II) Rehabilitación . *Psicología Conductual* . 1999;7(1):5–25.
36. Cappa S, Sterzi R, Vallar G, Bisiach E. Remission of hemineglect and anosognosia during vestibular stimulation. *Neuropsychologia*. 1987 Jan;25(5):775–82.
37. Staab JP, Eckhardt-Henn A, Horii A, Jacob R, Strupp M, Brandt T, et al. Diagnostic criteria for persistent postural-perceptual dizziness (PPPD): Consensus document of the committee for the Classification of Vestibular Disorders of the Bárány Society. *Journal of Vestibular Research*. 2017 Oct 21;27(4):191–208.
38. Marambio G J, Segui V G, Cortés F I, Breinbauer K H. Mareo postural perceptual persistente: La causa más frecuente de mareo crónico es fácil de tratar. *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello*. 2019 Sep;79(3):323–8.
39. Hewett R, Bartolomei F. Epilepsy and the cortical vestibular system: tales of dizziness and recent concepts. *Frontiers in Integrative Neuroscience*. 2013;7.
40. Medendorp WP, Selen LJP. Vestibular contributions to high-level sensorimotor functions. *Neuropsychologia*. 2017 Oct;105:144–52.
41. Smith JL, Trofimova A, Ahluwalia V, Casado Garrido JJ, Hurtado J, Frank R, et al. The “vestibular neuromatrix”: A proposed, expanded vestibular network from graph theory in post-concussive vestibular dysfunction. *Human Brain Mapping*. 2022 Apr 3;43(5):1501–18.

42. MoCA – Cognitive Assessment [Internet]. 2015 [cited 2022 Jul 21]. Available from: www.mocatest.org
43. Gaete M, Jorquera S, Bello-Lepe S, Mendoza YM, Véliz M, Alonso-Sanchez MF, et al. Resultados estandarizados del Montreal Cognitive Assessment (MoCA) para cribado neurocognitivo en población chilena. *Neurología*. 2020 Nov;
44. Oliva G C, Ochoa S N, Kuroiwa R M, Barraza P C, Núñez T M, Breinbauer K H. Nuevo método para evaluar el Test Subjetivo Vertical. *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello*. 2017 Jun;77(2):124–34.
45. Dieterich M, Brandt T. Perception of Verticality and Vestibular Disorders of Balance and Falls. *Frontiers in Neurology*. 2019 Apr 3;10.

Anexos

Criterios diagnósticos de Mareo postural-perceptual persistente (MPPP):
A. Uno o más síntomas de mareos, inestabilidad o vértigo no rotatorio presentes la mayoría de los días por al menos 3 meses <ol style="list-style-type: none">1. Síntomas duran por periodos prolongados de tiempo (horas), pudiendo aumentar y disminuir en intensidad2. Los síntomas pueden no estar presentes de forma continua a lo largo de todo el día
B. Los síntomas ocurren sin una provocación específica, pero son exacerbados por tres factores: <ol style="list-style-type: none">1. Postura erguida2. Movimientos activos o pasivos, independiente de la dirección o posición3. Exposición a estímulos visuales en movimiento o patrones visuales complejos
C. Generalmente comienza luego de eventos que causan vértigo, mareo o problemas con el equilibrio, incluyendo: síndromes vestibulares agudos, episódicos o crónicos, enfermedades neurológicas o médicas, o estrés psicológico: <ol style="list-style-type: none">1. Cuando son gatillados de forma aguda o episódicas, los síntomas se establecen como en el criterio A si el precipitante desaparece, pero pueden volverse intermitente y luego consolidarse en un curso persistente2. Cuando son gatillados por precipitantes crónicos, los síntomas pueden desarrollarse lentamente al inicio y empeorar gradualmente
D. Los síntomas causan una alteración funcional importante
E. Los síntomas no son atribuibles a otra enfermedad

Tabla 2: Criterios diagnósticos establecidos en consenso de la Sociedad de Bárány, basados en síndromes de vértigo funcional precursores del MPPP (Adaptado de Staab et al.)³⁸.

MONTREAL COGNITIVE ASSESSMENT (MOCA™)

Spanish Version 8.3

Name:

Education:

Sex:

Date of birth:

DATE:

VISUOSPATIAL/EXECUTIVE		Copy Bed					Draw a CLOCK (five past ten) (3 point)			Points			
							[] [] [] Contour Numbers Hands			_ / 5			
NAMING													
										_ / 3			
MEMORY		Read list of words, subject must repeat them. Do 2 trials, even if 1st trial is successful. Do recall after 5 minutes.					LEG	COTTON	SCHOOL	TOMATO	WHITE	No POINTS	
		1st TRIAL											
		2nd TRIAL											
ATTENTION		Read list of digits (1 digit/sec). Subject has to repeat them in the forward order [] 2 4 8 1 5 Subject has to repeat them in the backward order [] 4 2 7										_ / 2	
		Read list of letters. The subject must tap with his hand at each letter A. No point if ≥ 2 errors [] F B A C M N A A J K L B A F A K D E A A A J A M O F A A B										_ / 1	
		Serial 7 subtraction starting to 60. [] 53 [] 46 [] 39 [] 32 [] 25 4 o 5 correct subtractions: 3 points, 2 o 3 correct: 2 points, 1 correct: 1 point, 0 correct: 0 point										_ / 3	
LANGUAGE		Repeat: The child walked his dog in the park after midnight [] The artist finished his painting at the right moment for the exhibition []										_ / 2	
		Language fluency. Name maximum number of words in one minute that begin with the letter B. [] ____ (N ≥ 11 words)										_ / 1	
ABSTRACTION		Similarity between e.g., banana - orange = fruits [] hammer - screwdriver [] matches - lamp										_ / 2	
DELAYED RECALL		(MIS) Has to recall word with no cue LEG COTTON SCHOOL TOMATO WHITE Points for uncued recall only										_ / 5	
Memory Index Score (MIS)		X3										MIS = ____ / 15	
		X2 Category cue											
		X1 Multiple choice cue											
ORIENTATION		[] Date		[] Month		[] Year		[] Day		[] Place		[] City	_ / 6
© Z. Nasreddine MD www.mocatest.org						MIS: /15							
Administered by: _____						(Normal ≥ 26/30)							
Training and Certification are required to ensure accuracy.						Add 1 point if <12 years of education			TOTAL			_ / 30	

10CA-Versión 8.3 June 28, 2017 ©Z. Nasreddine MD
 ersion en español/México 03 mayo 2020
 daptado por: L. Ledesma PhD.

Evaluación cognitiva de Montreal (MoCA) (Nasreddine). Versión en español 8.3 adaptado por L. Ledesma PhD ⁴². Disponible en: <https://www.mocatest.org/paper>

Evaluación Cognitiva Montreal (MoCA)
Versión en español 8.3
Instrucciones de aplicación y calificación.

La Evaluación Cognitiva Montreal (MoCA), fue diseñada como un instrumento de detección rápida para la disfunción cognitiva leve. Evalúa diferentes dominios cognitivos: atención y concentración, funciones ejecutivas, memoria, lenguaje, habilidades visuoconstructivas, pensamiento conceptual, cálculo y orientación. La MoCA puede ser aplicado por cualquier persona que entienda y siga las instrucciones, sin embargo, sólo un profesional de la salud con experiencia en el campo cognitivo puede interpretar los resultados. El tiempo de administración de la MoCA es de 10 minutos aproximadamente. El puntaje total posible es de 30 puntos; un puntaje de 26 o superior se considera normal.

Todas las instrucciones pueden repetirse una vez.

1. Test del Trazo Alterno:

Aplicación: El examinador instruye lo siguiente: *“Por favor, dibuje una línea que vaya desde un número hacia una letra en orden ascendente. Comience aquí [señale el número (1)] y dibuje una línea hacia la letra A, a continuación hacia el número 2 y así consecutivamente. Terminando aquí [señale la letra (E)].”*

Puntuación: Se asigna un punto si el paciente dibuja correctamente el siguiente patrón: 1-A-2-B-3-C-4-D-5-E, sin dibujar ninguna línea que se cruce. Cualquier error que no se autocorrije de forma inmediata, es decir, antes de pasar a la tarea de la Cama, obtendrá una puntuación de 0. No se otorgará ningún punto si el paciente dibuja una línea conectando el final (E) con el principio (1).

2. Habilidades Visuoconstructivas (Cama):

Aplicación: El examinador da las instrucciones siguientes señalando la cama: *“Copie este dibujo tan preciso como pueda.”*

Puntuación: Se otorga un punto realizar el dibujo correctamente:

- El dibujo debe ser tridimensional
- Todas las líneas deben haberse dibujado
- Todas las líneas dibujadas se conectan con poco o ningún espacio
- No deben añadirse líneas
- Las líneas son paralelas y de longitud similar
- Debe mantenerse la orientación espacial de la cama

No se asigna ningún punto si cualquiera de los criterios anteriores no se cumple

3. Habilidades Visuoconstructivas (Reloj):

Aplicación: El examinador debe asegurarse que el paciente no vea su reloj mientras realiza la tarea, y que no hay ningún reloj a la vista. El examinador indica

MOCA –Versión 8.3 June 28, 2017 ©Z. Nasreddine MD
Versión en español/México 03 mayo 2020
Adaptado por: L. Ledesma PhD.

1
st.org

Instructivo de aplicación de evaluación cognitiva de Montreal (MoCA) (Nasreddine). Versión en español 8.3 adaptado por L. Ledesma PhD. ⁴². Disponible en: <https://www.mocatest.org/paper>

el espacio apropiado y da la siguiente instrucción: *“Dibuje un reloj. Coloque todos los números dentro y marque las diez con cinco minutos.”*

Puntuación: Se asigna un punto por cada uno de los siguientes tres criterios:

- **Contorno (1 punto):** El contorno del reloj debe estar dibujado (ya sea circular o cuadrado), solo se aceptarán leves distorsiones (ej. Leve imperfección al cerrar el círculo). Si los números son ordenados de forma circular pero el contorno no se dibuja, se puntúa como incorrecto.
- **Números (1 punto):** todos los números del reloj deben estar presentes sin agregar números. Los números deben estar de colocados en el orden correcto de forma vertical y situados en su cuadrante aproximado del reloj. Los números romanos son aceptados. Los números deben estar organizados en forma circular (incluso si el contorno es un cuadrado). Todos los números deben colocarse dentro o fuera del contorno, si el paciente coloca algunos números dentro del contorno del reloj y algunos fuera del contorno del reloj, no recibe un punto en este criterio.
- **Manecillas (1 punto):** Debe haber dos manecillas unidas indicando la hora correcta. La manecilla de las horas debe ser claramente más corta que la manecilla de los minutos; ambas manecillas deben estar centradas en la carátula del reloj con su unión en el centro del mismo.

4. Denominación:

Aplicación: Comenzando por la izquierda, el examinador señala cada figura y dirá: *“Dime el nombre de este animal.”*

Puntuación: Se asigna un punto por cada una de las siguientes respuestas: (1) caballo, poni, yegua o potro (2) tigre (3) pato.

5. Memoria:

Aplicación: El examinador leerá una lista de cinco palabras con una velocidad de una por segundo, dando las siguientes instrucciones: *“Esta es una prueba de memoria. Le voy a leer una lista de palabras que debe recordar ahora y también solicitaré que lo haga más adelante. Escuche cuidadosamente. Cuando yo finalice, diga todas las palabras que le sean posible recordar, no importa el orden en que las diga.”* El examinador deberá marcar en el espacio correspondiente las palabras que el paciente refiera en el primer ensayo. El examinador no debe corregir al paciente si recuerda mal una palabra o dice una palabra con un sonido similar a la correcta. Cuando el paciente indique que ha terminado (haya recordado todas las palabras), o no puede recordar más palabras, el examinador leerá la lista una segunda vez con las siguientes instrucciones: *“Ahora voy a leerle la misma lista de palabras una vez más, trate de recordarlas y decir todas las palabras que pueda, incluidas las que mencionó la primera vez.”* El examinador deberá marcar en el

espacio correspondiente las palabras que el paciente recuerde en el segundo ensayo. Al final del segundo ensayo, el examinador informa al paciente que se le pedirá recordar las palabras más tarde diciendo: *“Le pediré recordar estas palabras nuevamente al final de la prueba.”*

Puntuación: No se otorgan puntos para los ensayos uno y dos.

6. Atención:

Dígitos directos. Aplicación: El examinador da las siguientes instrucciones: *“Voy a decir algunos números y cuando termine, repítalos exactamente como los dije.”* El examinador lee la secuencia de cinco dígitos con una velocidad de un dígito por segundo.

Dígitos Inversos. Aplicación: El examinador da la siguiente instrucción: *“Ahora voy a decir algunos números más, pero cuando termine, deberá repetirlos en orden inverso (del final hacia el principio).”* El examinador debe leer la secuencia de tres números con una velocidad de un dígito por segundo. Si el paciente repite la secuencia hacia delante, el examinador no debe pedir en ese momento que la repita hacia atrás.

Puntuación: Se asigna un punto por cada secuencia repetida correctamente (N.B.: la respuesta correcta para dígitos inversos es 7-2-4).

Concentración. Aplicación: El examinador leerá la lista de letras con una velocidad de una por segundo, después de dar las siguientes instrucciones: *“Voy a leer una secuencia de letras. Cada vez que mencione la letra A, de un pequeño golpe con su mano. Si digo una letra diferente, no de ningún golpe.”*

Puntuación: Se asigna un punto si el paciente no comete errores o sólo comete un error (un error es golpear la mesa ante una letra equivocada o no dar el golpe en la letra A).

Sustracción de 7. Aplicación: El examinador da las siguientes instrucciones: *“Ahora, le pido que al número 60 le reste 7 y después continúe restando 7 a su respuesta hasta que yo le indique que se detenga.”* El paciente debe realizar el cálculo de forma mental, por lo tanto, no debe contar con sus dedos o utilizar lápiz y papel para esta prueba. El examinador no debe repetir las respuestas al paciente. Si el sujeto pregunta cuál fue su última respuesta o qué número debe restar de su respuesta, el examinador debe responder repitiendo las instrucciones si aún no lo ha hecho.

Puntuación: Esta subprueba obtiene 3 puntos en total. No asigne puntos si las restas han sido incorrectas, 1 punto por una resta correcta, 2 puntos por dos o tres restas correctas, y 3 puntos si el paciente realiza cuatro o cinco restas de forma correcta. Cada sustracción es evaluada de forma independiente, es decir, si el paciente responde con un número erróneo, pero sustrae 7 correctamente de esta cifra, se contará como una resta correcta. Por ejemplo, un paciente responde “52-45-38-31-24” en donde el “52” es incorrecto, pero todos los números subsiguientes se restan de forma correcta, se asignan 3 puntos puesto que es un error.

7. Repetición de oraciones.

Aplicación: El examinador dice las siguientes instrucciones: “Voy a leerle una oración. Repítala después de mí, exactamente como la diga [pausa]: “El niño paseaba a su perro en el parque después de medianoche.” Después de la respuesta, diga: “Ahora voy a leerle otra oración. Repítala después de mí, exactamente como la diga [pausa]: “El artista terminó su pintura en el momento exacto para la exhibición.”

Puntuación: Se asigna un punto por cada oración repetida correctamente. Las repeticiones deben ser exactas. Se debe prestar atención a las omisiones (ej. Omitir “exacto”), sustituciones/adiciones (ej. Sustituir “después de” por “a”). Errores gramaticales/plural (ej. “pintura” por “pinturas”), etc.

8. Fluidez verbal:

Aplicación: El examinador da la siguiente instrucción: “Ahora quiero que me diga el mayor número de palabras que le sean posible recordar que comiencen con la letra B. Le pediré que se detenga en un minuto. No se permiten nombres propios, números y las formas conjugadas de un verbo. ¿Está listo? [Pausa] [Tiempo 60 seg.] Alto.” Si el paciente nombra dos palabras consecutivas que comiencen con otra letra del abecedario, el examinador debe repetir la letra objetivo si aún no le ha repetido las instrucciones.

Puntuación: Se asigna un punto si el paciente dice 11 palabras o más en 60 segundos. El examinador anotará las respuestas del paciente en el margen o al reverso de la hoja.

9. Abstracción:

Aplicación: El examinador solicita al paciente explicar qué tienen en común cada par de palabras, comenzando con el ejemplo: “Le diré dos palabras y me gustaría que me dijera a qué categoría pertenecen [pausa]: una naranja y un plátano.” Si el paciente responde correctamente, el examinador responde: “Sí, ambos pertenecen a la categoría de frutas.” Si el paciente responde de una forma concreta, el examinador le da una pista adicional: “Dígame otra categoría a las que estos elementos pertenezcan.” Si el paciente no da una respuesta correcta

(*frutas*), el examinador responde: “*Sí, y las dos también pertenecen a la categoría de Frutas.*” No se proporcionan instrucciones o especificaciones adicionales. Después del ensayo de prueba, el examinador dice: “*Ahora, un martillo y un desarmador.*” Tras la respuesta, el examinador administra el segundo ensayo diciendo: “*Ahora, unos cerillos y una lámpara.*” Se puede proporcionar una pista (para toda la sección de abstracción) si no se dio ninguna durante el primer ejemplo.

Puntuación: Únicamente los dos últimos pares de palabras se puntúan. Se da un punto por cada par correcto. Se aceptan las siguientes respuestas:

- Martillo-Desarmador = herramientas, carpintería, construcción, instrumentos de trabajo.
- Cerillos-Lámpara = luz, luminosos, iluminación

Las siguientes respuestas no son aceptables:

- Martillo-Desarmador = instrumentos, tienen mangos, objetos de metal
- Cerillos-Lámpara = fuego, objetos calientes, producen calor.

10. Recuerdo diferido:

Aplicación: El examinador dará la siguiente instrucción: “*Con anterioridad, le leí algunas palabras, y le pedí las recordara. Dígame ahora todas las palabras que recuerde.*” El examinador deberá marcar (v) en el espacio correspondiente las palabras que el paciente recuerde de forma espontánea sin pistas.

Puntuación: Se asigna un punto por cada palabra recordada de forma espontánea, sin pistas.

Puntuación Índice de Memoria (Memory Index Score, MIS):

Aplicación: Después de la tarea de recuerdo diferido por recuerdo espontáneo, el examinador proporciona una pista de categoría (semántica) para cada palabra que el paciente fue incapaz de recordar. Ejemplo: “*Le daré algunas pistas para ver si le ayudan a recordar las palabras, la primera palabra era un parte del cuerpo.*” Si al paciente le es imposible recordar la palabra con la pista de categoría, el examinador le proporcionará una pista de elección múltiple. Ejemplo: “*¿Cuál de las siguientes palabras cree usted que era, MANO, PIERNA o CARA?*” Se sugieren todas las palabras no recordadas de esta forma. El examinador identificará las palabras que el paciente pueda recordar con ayuda de pistas (de categoría o de elección múltiple) colocando una marca (v) en el espacio correspondiente.

Las pistas para cada palabra se presentan a continuación:

Palabra Correcta	Pista de Categoría	Elección Múltiple
PIERNA	Parte del cuerpo	Mano, pierna, cara (hombro, nariz)
ALGODÓN	Tipo de tela	seda, algodón, nylon (terciopelo, mezcilla)
ESCUELA	Edificio público	Escuela, hospital, biblioteca (iglesia, tienda)
TOMATE	Tipo de alimento	Lechuga, tomate, zanahoria (pepinillo, apio)
BLANCO	Color	Morado, blanco. verde (amarillo, rojo)

* Las palabras en el paréntesis serán usadas si el paciente menciona una o dos de las respuestas de elección múltiple en la opción de pistas de categoría.

Puntuación: Para determinar el MIS (que es una subpuntuación), el examinador asignará puntos según el tipo de recuerdo (véase tabla más abajo). El uso de pistas provee información clínica de la naturaleza del déficit de memoria. Para déficits de memoria relacionados con fallas de recuperación, el rendimiento se puede mejorar con pistas. Para déficits de memoria debido a fallas de codificación, el rendimiento no mejora con pistas.

Puntuación MIS				TOTAL
Número de palabras recordadas espontáneamente	...	Multiplicadas por	3	...
Número de palabras recordadas con pistas de categoría	...	Multiplicadas por	2	...
Número de palabras recordadas con pistas de elección múltiple	...	Multiplicadas por	1	...
Total MIS (sumar todos los puntos)				___/15

11. Orientación:

Aplicación: El examinador dará las siguientes instrucciones: *“Dígame la fecha del día del hoy.”* Si el paciente no da una respuesta completa, el examinador solicitará que la indique diciendo: *“Dígame el [año, mes, fecha exacta, y el día de la semana].”* Después el examinador dirá: *“Ahora, dígame el nombre de este lugar, y en qué ciudad está.”*

Puntuación: Se asigna un punto por cada respuesta correcta. La fecha y el lugar (nombre del hospital, clínica, consultorio) deben ser exactos. No se asignan puntos si el paciente se equivoca por un día en el día del mes y día de la semana.

PUNTUACIÓN TOTAL: Sume todos las subpuntuaciones enlistadas en el costado derecho. Añada un punto si el paciente tiene 12 años o menos de escolaridad, para un máximo posible de 30 puntos. Una puntuación total igual o superior a 26 se considera normal.

Consulte el sitio web de MoCA en www.mocatest.org para obtener más información sobre MoCA