

TESIS DOCTORAL

**CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN
DEL TRASTORNO DE LA PERCEPCIÓN DE
LA VERTICALIDAD VISUAL EN SUJETOS
CON PATOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE
PROCESAMIENTO DEL CONTROL POSTURAL**

Esteban Obrero Gaitán



Universidad de Jaén

DIRIGIDA POR:

Dr. D. Rafael Lomas Vega

Dr. D. Francisco Javier Molina Ortega

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA SALUD

Jaén, 2021

*A mi padre y a mi madre,
por haber estado toda su vida haciendo un esfuerzo continuo
para que sus hijos pudieran tener las oportunidades
que ellos no tuvieron.*

*A todo el que ha dedicado parte de su tiempo en ayudarme
para hacer realidad este proyecto de investigación.*



Universidad de Jaén

Escuela de Doctorado

TESIS DOCTORAL

•

**CUANTIFICACIÓN Y
CARACTERIZACIÓN DEL TRASTORNO
DE LA PERCEPCIÓN DE LA
VERTICALIDAD VISUAL EN SUJETOS
CON PATOLOGÍA DE LOS SISTEMAS
DE PROCESAMIENTO DEL CONTROL
POSTURAL**

**PRESENTADA POR:
D. ESTEBAN OBRERO GAITÁN**

**DIRIGIDA POR:
DR. D. RAFAEL LOMAS VEGA
DR. D. FRANCISCO JAVIER MOLINA ORTEGA**

JAÉN, 26 DE ENERO DE 2021



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA SALUD

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

UNIVERSIDAD DE JAÉN

**CUANTIFICACIÓN Y
CARACTERIZACIÓN DEL TRASTORNO
DE LA PERCEPCIÓN DE LA
VERTICALIDAD VISUAL EN SUJETOS
CON PATOLOGÍA DE LOS SISTEMAS
DE PROCESAMIENTO DEL CONTROL
POSTURAL**

Esteban Obrero Gaitán

Directores de Tesis:

Dr. D. Rafael Lomas Vega

PhD
Profesor Contratado Doctor
Universidad de Jaén

Dr. D. Francisco Javier Molina Ortega

PhD
Profesor Contratado Doctor
Universidad de Jaén

Jaén, 26 de enero de 2021



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA SALUD

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

UNIVERSIDAD DE JAÉN

Profesor Dr. D. Rafael Lomas Vega
Profesor Contratado Doctor

Profesor Dr. D. Francisco Javier Molina Ortega
Profesor Titular

Departamento de Ciencias de la Salud
Universidad de Jaén

AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES DE TESIS PARA SU PRESENTACIÓN

El **Dr. D. Rafael Lomas Vega** y el **Dr. D. Francisco Javier Molina Ortega** como Directores de la Tesis Doctoral titulada ***“Cuantificación y caracterización del trastorno de la percepción de la verticalidad visual en sujetos con patología de los sistemas de procesamiento del control postural”***, realizada por **D. Esteban Obrero Gaitán** en el Departamento de Ciencias de la Salud de la Universidad de Jaén, **autorizan su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo firmo para dar cumplimiento a los **Reales Decretos 56/2005 y 778/98**, en Jaén
a 26 de enero de 2021.

Dr. D. Rafael Lomas Vega

Dr. D. Francisco Javier Molina Ortega

Departamento de Ciencias de la Salud
Paraje Las Lagunillas, s/n – Edificio B3 – 23071- Jaén
Tel. (+34) 953 21 18 51 – Fax (+34) 953 21 29 43

ÍNDICE:

1. LISTA DE PUBLICACIONES	3
2. ABREVIATURAS	5
3. ABSTRACT	7
4. RESUMEN	9
5. INTRODUCCIÓN	11
5.1. POSTURA CORPORAL	11
5.2. EQUILIBRIO POSTURAL	12
5.3. SISTEMA POSTURAL	13
5.3.1. COMPONENTES DEL SISTEMA POSTURAL	13
5.3.1.1. ÓRGANOS SENSORIALES PERIFÉRICOS DEL SISTEMA POSTURAL	14
5.3.1.1.1. SISTEMA VESTIBULAR	14
5.3.1.1.1.1. Órganos vestibulares periféricos	15
5.3.1.1.1.1.1. Sáculo y Utrículo	15
5.3.1.1.1.1.2. Canales semicirculares	16
5.3.1.1.1.2. Componentes vestibulares intermedios de la transducción del impulso vestibular	17
5.3.1.1.1.2.1. Ganglio vestibular o de Scarpa	17
5.3.1.1.1.2.2. Nervio vestibulo-coclear	18
5.3.1.1.1.3. Vías vestibulares centrales de la integración postural	18
5.3.1.1.1.3.1. Núcleos del complejo vestibular	18
5.3.1.1.1.3.1.1. Núcleo vestibular medial	18
5.3.1.1.1.3.1.2. Núcleo vestibular superior	19
5.3.1.1.1.3.1.3. Núcleo vestibular lateral	19
5.3.1.1.1.3.1.4. Núcleo vestibular inferior	19
5.3.1.1.1.3.2. Vestíbulo-cerebelo	19
5.3.1.1.1.3.3. Cortex vestibular	20
5.3.1.1.2. SISTEMA VISUAL	21
5.3.1.1.2.1. Componentes periféricos del sistema visual	21
5.3.1.1.2.1.1. El globo ocular	21
5.3.1.1.2.1.2. La retina	22
5.3.1.1.2.1.2.1. Fotorreceptores: conos y bastones	22
5.3.1.1.2.2. Componentes visuales en la transducción y transmisión del impulso visual	23
5.3.1.1.2.2.1. Nervio óptico	23
5.3.1.1.2.2.2. Vías visuales centrales	24
5.3.1.1.2.3. Musculatura extrínseca del ojo	24
5.3.1.1.3. SISTEMA PROPIOCEPTIVO	24
5.3.1.1.3.1. Receptores propioceptivos	25
5.3.1.1.3.1.1. Husos neuromusculares	25
5.3.1.1.3.1.2. Órgano tendinoso de Golgi	26
5.3.1.1.3.1.3. Receptores articulares	26
5.3.1.1.3.2. Vías nerviosas propioceptivas	27
5.3.1.1.3.3. Corteza cerebral	27
5.3.2. CONTROL POSTURAL	28
5.3.2.1. DEFINICIÓN DEL CONTROL POSTURAL	28
5.3.2.2. ESTRATEGIAS DE CONTROL POSTURAL	29
5.3.2.3. RELACIONES ENTRE LAS AFERENCIAS SENSORIALES DEL SNC	30
5.4. VERTICALIDAD	31
5.4.1. CONCEPTO DE VERTICALIDAD	31
5.4.2. NEUROFISIOLOGÍA DE LA PERCEPCIÓN DE LA VERTICALIDAD	31
5.4.3. MEDICIÓN DE LA PERCEPCIÓN DE LA VERTICALIDAD	32
5.4.3.1. VERTICAL POSTURAL SUBJETIVA	33
5.4.3.2. VERTICAL HÁPTICA SUBJETIVA	34
5.4.3.3. VISUAL VERTICAL SUBJETIVA	35
5.4.3.3.1. Test clásico de la Visual Vertical Subjetiva	36

5.4.3.3.1.1. Heterogeneidad procedimental para evaluar la VV	37
5.4.3.3.1.1.1. Test del cubo	37
5.4.3.3.1.1.2. Test de la cúpula hemisférica	38
5.4.3.3.1.1.3. Evaluación computerizada de la VVS	39
5.4.3.3.1.1.4. Prueba de la VVS basada en realidad virtual	39
5.4.3.3.1.1.5. Test de la varilla y el marco	41
5.4.3.3.1.2. Heterogeneidad en cuanto a los valores finales de la VVS	43
5.4.3.3.1.3. Heterogeneidad en cuanto al número de intentos de la VVS	43
5.4.3.3.1.4. Heterogeneidad en cuanto a la expresión del resultado de la VVS	44
5.4.3.3.1.5. Otros aspectos que aportan variabilidad a la prueba de la VVS	45
5.4.4. ALTERACIONES DE LA VERTICALIDAD VISUAL	46
5.4.4.1. ALTERACIONES NEUROLÓGICAS CENTRALES	47
5.4.4.2. ALTERACIONES MÚSCULO-ESQUELÉTICAS DEL RAQUIS	47
5.4.4.3. ALTERACIONES VESTIBULARES PERIFÉRICAS	48
5.4.4.4. TRASTORNOS PRIMARIOS DE DOLOR DE CABEZA	49
6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	51
7. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	53
8. MATERIALES Y MÉTODOS	55
8.1. FASE DE BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA:	56
8.2. FASE DE SELECCIÓN DE ESTUDIOS:	56
8.3. FASE DE EXTRACCIÓN DE DATOS:	57
8.4. FASE DE ANÁLISIS DE LA CALIDAD METODOLÓGICA:	58
8.5. FASE DE ANÁLISIS DE DATOS:	59
9. RESULTADOS	61
ESTUDIO 1:	63
“MISPERCEPTION OF THE SUBJECTIVE VISUAL VERTICAL IN NEUROLOGICAL PATIENTS WITH OR WITHOUT STROKE: A META-ANALYSIS”	63
ESTUDIO 2:	75
“VISUAL VERTICALITY PERCEPTION IN SPINAL DISEASES: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS”	75
ESTUDIO 3:	93
“MISPERCEPTION OF VISUAL VERTICAL IN PERIPHERAL VESTIBULAR DISORDERS. A SYSTEMATIC REVIEW WITH META-ANALYSIS”	93
ESTUDIO 4:	107
“MISPERCEPTION OF VISUAL VERTICALITY IN PATIENTS WITH PRIMARY HEADACHE DISORDERS: A SYSTEMATIC REVIEW WITH META-ANALYSIS”	107
10. DISCUSIÓN	125
11. CONCLUSIONS	133
STUDY 1:	133
STUDY 2:	133
STUDY 3:	134
STUDY 4:	134
12. REFERENCIAS	135
13. AGRADECIMIENTOS	151

1. LISTA DE PUBLICACIONES

La presente memoria final de esta Tesis Doctoral está compuesta por los siguientes artículos científicos publicados durante los años 2019 y 2020:

- I. Molina F, Lomas-Vega R, Obrero-Gaitán E, Rus A, Almagro DR, Del-Pino-Casado R. Misperception of the subjective visual vertical in neurological patients with or without stroke: A meta-analysis. *NeuroRehabilitation*. 2019;44(3):379-388. doi:10.3233/NRE-182642
- II. Obrero-Gaitán E, Molina F, Del-Pino-Casado R, Ibáñez-Vera AJ, Rodríguez-Almagro D, Lomas-Vega R. Visual Verticality Perception in Spinal Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 2020;9(6):1725. Published 2020 Jun 3. doi:10.3390/jcm9061725
- III. Obrero-Gaitán E, Molina F, Montilla-Ibañez MD, Del-Pino-Casado R, Rodríguez-Almagro D, Lomas-Vega R. Misperception of Visual Vertical in Peripheral Vestibular Disorders. A Systematic Review with Meta-Analysis [published online ahead of print, 2020 Sep 23]. *Laryngoscope*. 2020;10.1002/lary.29124. doi:10.1002/lary.29124
- IV. Obrero-Gaitán E, Manrique-Navarro M, Lérica-Ortega MÁ, Rodríguez-Almagro D, Osuna-Pérez MC, Lomas-Vega R. Misperception of Visual Verticality in Patients with Primary Headache Disorders: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Brain Sci*. 2020;10(10):E664. Published 2020 Sep 24. doi:10.3390/brainsci10100664

2. ABREVIATURAS

Postura Corporal.....	PC
Centro de Masa	CdM
Centro de Gravedad.....	CdG
Sistema Postural.....	SP
Control Postural.....	CP
Sistema Nervioso Central.....	SNC
Músculos Extraoculares.....	MEO
Reflejo Vestíbulo-Ocular.....	RVO
Reflejo Vestíbulo-Espinal.....	RVE
Husos Neuromusculares.....	HNM
Órgano Tendinoso de Golgi.....	OTG
Reflejo Vestíbulo-Cólico.....	RVC
Actividades de la Vida Diaria.....	AVD
Vertical Postural Subjetiva.....	VPS
Vertical Háptica Subjetiva.....	VHS
Visual Vertical Subjetiva.....	VVS
Test de la Varilla y el Marco.....	TVM
Rod and Frame Test.....	RFT
Subjective Postural Vertical.....	SPV
Subjective Haptic Vertical.....	SHV
Subjective Visual Vertical.....	SVV
Verticalidad Visual.....	VV
Realidad Virtual.....	RV
Accidente Cerebro Vascular.....	ACV
Alteraciones Neurológicas Centrales.....	ANC
Alteraciones Vestibulares Periféricas.....	AVP
Trastornos Primarios del Dolor de Cabeza.....	TPDC
Diferencia de Medias Estandarizada.....	DME
Intervalo de Confianza al 95%.....	IC 95%
Central Nervous System Diseases.....	CNSD
Peripheral Vestibular Diseases.....	PVD
Primary Headache Disorders.....	PHD

3. ABSTRACT

The perception of verticality is constructed from an internal verticality model based on sensory information from the vestibular, visual and somatosensory systems, creating a fundamental mechanism that enables the correct spatial orientation necessary to maintain balance in relation to gravitational forces. There are several methods to evaluate the perception of verticality, such as the subjective vertical posture (SVP), the subjective vertical haptic (SVH), and the subjective vertical visual (SVV). The most used test to analyse the perception of visual verticality (VV) in clinical practice and research is the SVV test, which provides information on the vestibular system's contribution to the perception of VV. Likewise, the Rod and Frame Test (RFT) assesses the visual system's contribution to the perception of VV while also classifying the subjects as visually dependent or independent.

The evaluation of the perception of VV, using the SVV test and the RFT, is on the rise as a measure of alterations in the systems that participate in postural control. The SVV test was developed to analyse the perception of VV in patients with peripheral vestibular disorders (PVD) and Central Nervous System diseases (CNSD); although, it has also been used in pathologies that are expressed in different body regions, such as spinal pain and primary headache disorders (PHD). The assessment of VV is marked by great heterogeneity in terms of instrumentation and calculation procedures, as well as in the interpretation of the result, introducing confusion regarding its usefulness and the scope of these tests. Therefore, this Doctoral Thesis aimed to systematically identify the scientific evidence available to assess the possible alterations in the perception of VV in subjects with different alterations in the systems that participate in postural control compared to healthy subjects.

To fulfil the aim of this Doctoral Thesis, four systematic reviews with meta-analyses were carried out between 2017 and 2020. The stages of each systematic review were carried out with peers and it has been peer-reviewed in international journals. In each systematic review, the inclusion criteria were observational studies that assessed the perception of VV using the SVV or RFT in exposed (subjects with CNSD, musculoskeletal pain, PVD and/or PHD) versus healthy controls as the comparison group. The methodological quality was assessed with the Newcastle-Ottawa scale. Meta-

analyses were performed using a random-effects model (Dersimonian and Laird), and the pooled effect expressed as the standardised mean difference (SMD) with its 95% confidence intervals (95% CI). Publication bias was analysed with the Egger test and the Trim-and-Fill method, and the Higgins' degree of inconsistency was used to assess heterogeneity. Finally, a sensitivity analysis was performed to analyse the contribution of each study to the overall effect.

The results of the studies that compose this Doctoral Thesis show differences in the perception of VV compared to healthy controls in (1) subjects with CNSD (SMD=1.05; 95% CI=0.81, 1.28), being highest in subjects with stroke (SMD=1.35; 95% CI=1.02, 1.68), as evaluated with the SVV test; (2) in subjects with spinal pain assessed with the RFT (SMD=0.34, 95% CI=0.18, 0.49); and, (3) in subjects with PVD evaluated with the SVV test (SMD=1.51; 95% CI=1.19, 1.83) and with RFT (SMD=0.81; 95% CI=0.23, 1.39). Furthermore, when the SVV test was used, a large alteration in SVV was found in subjects with PVD in the acute phase (SMD=2.5; 95% CI=2.02, 2.97) and in those who had undergone vestibular surgery (SMD=2.24; 95% CI=1.47, 3.01). Finally, an alteration in the perception of VV, evaluated with the SVV test, was found in subjects with PHD (SMD=0.53; 95% CI=0.22, 0.83), especially in subjects with migraine (SMD=0.36; 95% CI=0.1, 0.63) and tension-type headache (SMD=1.12; 95% CI=0.54, 1.7).

The results of this thesis show an alteration in the perception of VV in subjects with CNSD, mainly for stroke, in PVD, especially acute and surgical PVD, in spinal pain disorders, as well as in patients with headaches and migraines.

Keywords: *Perception of visual verticality; subjective visual vertical; rod and frame test; visual dependence; peripheral vestibular disorders; musculoskeletal disorders, neurological disorders and headache primary disorders.*

4. RESUMEN

La percepción de la verticalidad se construye a partir de un modelo interno de verticalidad basado en la información sensorial proveniente de los sistemas vestibular, visual y somato-sensorial, resultando un mecanismo fundamental para promover la correcta orientación espacial necesaria para el mantenimiento del equilibrio en relación a las fuerzas gravitacionales. Existen varios métodos para evaluar la percepción de la verticalidad como la vertical postural subjetiva (VPS), la vertical háptica subjetiva (VHS) y la visual vertical subjetiva (VVS). El test más utilizado para analizar la percepción de la verticalidad visual (VV) en la práctica clínica y la investigación es el test de la VVS, el cual aporta información sobre la contribución del sistema vestibular a la percepción de la VV. Análogamente, el Test de la Varilla y el Marco (TVM) evalúa la aportación del sistema visual a la percepción de la VV a la misma vez que clasifica a los sujetos como visualmente dependientes o independientes.

La evaluación de la percepción de la VV, a través de las pruebas de la VVS y el TVM, está en auge como medida de alteración de los sistemas que participan en el control postural. La prueba de la VVS se creó para analizar la percepción de la VV en pacientes con alteraciones vestibulares periféricas (AVP) y del SNC, aunque también se ha utilizado en patologías que se expresan en distintas regiones corporales, como son el dolor espinal y los trastornos primarios del dolor de cabeza (TPDC). La evaluación de la VV está marcada por una gran heterogeneidad en cuanto a la instrumentación y los procedimientos de cálculo, así como en la interpretación del resultado, lo que introduce confusión en cuanto a la utilidad y alcance de la prueba. Por ello, el objetivo de esta Tesis Doctoral fue localizar sistemáticamente la evidencia científica disponible para analizar la posible alteración en la percepción de la VV en sujetos con diferentes alteraciones en los sistemas que participan en el control postural en comparación con los sujetos sanos.

Para cumplir con el objetivo de esta Tesis Doctoral se han realizado cuatro revisiones sistemáticas con meta-análisis entre los años 2017 y 2020. Las fases de cada revisión fueron realizadas por pares. De acuerdo a los criterios de elegibilidad en cada revisión se incluyeron estudios observacionales que compararan la percepción de la VV a través del test de la VVS o el TVM en sujetos con alteraciones neurológicas centrales, musculo-esquelética, AVP y/o TPDC frente a controles sanos. La calidad metodológica

fue evaluada con la escala Newcastle-Ottawa. El meta-análisis se realizó mediante un modelo de efectos aleatorios de Dersimonian and Laird y el efecto se expresó como la Diferencia de Medias Estandarizada (DME) con sus intervalos de confianza al 95% (IC 95%). El sesgo de publicación se analizó con el test de Egger y el método Trim-and-Fill, y para medir la heterogeneidad se usó el grado de inconsistencia de Higgins. Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad para analizar la contribución de cada estudio en el resultado global.

Los resultados de los estudios que componen esta Tesis Doctoral muestran diferencias en la percepción de la VV en cuando se comparó frente a controles sanos en: (1) sujetos con alteración neurológica central (ANC) (DME=1.05; IC 95%=0.81, 1.28), siendo mayor en sujetos con accidente cerebro vascular (DME=1.35; IC 95%=1.02, 1.68) ambos evaluados con el test de la VVS; (2) En sujetos con dolor espinal evaluado con el TVM (DME=0.34; IC 95%=0.18, 0.49); (3) En sujetos con AVP evaluada con el test de la VVS (DME=1.51; IC 95%=1.19, 1.83) y con el TVM (DME=0.81; IC 95%=0.23, 1.39). Además, cuando se utilizó el test de la VVS en sujetos con AVP se encontró una gran alteración en la VV en sujetos en fase aguda (DME=2.5; IC 95%=2.02, 2.97) y en aquellos que habían sido sometidos a una cirugía vestibular (DME=2.24; IC 95%=1.47, 3.01). (4) Finalmente, se encontró una alteración en la percepción de la VV, evaluada con el test de la VVS, en sujetos con TPDC (DME=0.53; IC 95%=0.22, 0.83), especialmente en sujetos con migraña (DME=0.36; IC 95%=0.1, 0.63) y cefalea tensional (DME=1.12; IC 95%=0.54, 1.7).

Los resultados de esta Tesis muestran una alteración de la percepción de la VV en sujetos con ANC, principalmente el ACV; en AVP, sobretudo patología aguda y quirúrgica, en los trastornos dolorosos del raquis, así como en los sujetos con cefaleas y migrañas.

Palabras clave: *Percepción de la visual vertical; visual vertical subjetiva; test de la varilla y el marco; dependencia visual; alteraciones vestibulares periféricas; alteraciones músculo-esqueléticas; alteraciones neurológicas; y trastornos primarios del dolor de cabeza.*

5. INTRODUCCIÓN

5.1. POSTURA CORPORAL

El término “postura corporal” (en adelante, PC) hace referencia a la posición y orientación que adoptan tanto el cuerpo humano como sus extremidades en el espacio en un momento determinado (1,2). La PC, en la mayoría de ocasiones, es una posición inconsciente y automática que representa la reacción del cuerpo del individuo a la fuerza de la gravedad (3). A nivel funcional, se entiende la PC correcta como el adecuado equilibrio entre las estructuras óseas y musculares en relación con la gravedad para permitir una correcta función y desplazamiento del sujeto (2).

La PC está mantenida por un conjunto de huesos y músculos ensamblados mediante articulaciones que le confieren al individuo la posibilidad de mantener o cambiar la posición corporal mediante fuerzas generadas por el sistema muscular para poder realizar actividades y/o relacionarse con el medio (4). En este sentido, la PC también se define como la relación existente entre la posición de todas las articulaciones que conforman el organismo con respecto a las extremidades y el tronco y viceversa (2). Cuando existe una alteración o mala relación anátomo-funcional entre las distintas estructuras que constituyen el cuerpo humano, se generan situaciones de tensión muscular, entendida como desequilibrio entre tono de la musculatura agonista y antagonista, que puede modificar la estática postural, creando una zona de mayor tensión o estrés mecánico (5).

Existe una miríada de factores internos o inherentes al propio sujeto (neurofisiológicos, biomecánicos y emocionales) y externos o ambientales (entorno que le rodea, la superficie en la que se apoya, la cultura, así como los hábitos laborales y sociales-personales, entre otros) que pueden alterar la PC de un sujeto (6,7). Es de especial importancia detectar estas alteraciones anátomo-funcionales que pueden hacer adoptar al individuo patrones posturales patológicos que, entre otras consecuencias, podría dar lugar a una alteración patológica del sentido de la verticalidad (8).

Otra definición del concepto de PC se construye a partir de la información que el individuo recibe del interior y exterior, pudiendo definir la PC como cualquier posición

que garantice el mantenimiento del equilibrio en términos de máxima estabilidad, consumiendo la menor cantidad de energía posible y generando el mínimo estrés en las estructuras anatómicas (9). Desde un punto de vista funcional, debido a la interacción de todos los elementos que integran el aparato locomotor, la PC se puede clasificar en:

- **Postura funcional o no patológica**: Es la PC que aparece en un individuo cuando hay equilibrio entre las cadenas musculares que favorecen el mantenimiento de una relación armoniosa entre huesos y músculos en los tres planos del espacio, y que además se caracteriza por un tono muscular normal (ausencia de un tono muscular predominante en una determinada cadena cinética) y la ausencia de dolor. Esta postura funcional le permite al individuo poder moverse y relacionarse con el medio sin restricciones patológicas.
- **Postura no funcional o patológica**: Es todo lo contrario a la PC funcional. En esta PC aparecen síntomas dolorosos, desequilibrios tensionales o distonías musculares que favorecen la pérdida de armonía entre las cadenas cinéticas y que, por tanto, rompe la relación funcional entre los distintos elementos del aparato locomotor en los tres planos del espacio (6).

Finalmente, cabe destacar también la importancia de los factores psico-emocionales de la persona en el mantenimiento de la PC (10).

5.2. EQUILIBRIO POSTURAL

El concepto de equilibrio alude al estado que tiene un cuerpo en el cual la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre él es igual a cero (11). Es decir, hace referencia a la Tercera Ley de Newton, en la cual si dos fuerzas de igual magnitud, pero de sentido opuesto, actúan sobre un objeto, este permanecerá estático sin que cambie su posición (12). Para comprender el concepto de equilibrio hay que definir previamente los conceptos de Centro de Masa (CdM) que corresponde a la suma de las trayectorias de todos los segmentos del cuerpo en los planos antero-posterior y medio-lateral (13) y de Centro de Gravedad (CdG) que es el punto situado en el centro de la masa corporal y representa la proyección vertical del CdM en el suelo (13). En situaciones libres de movimiento, la capacidad de un individuo para mantener el equilibrio se relaciona con la

posición de su CdM, de su CdG y por la dimensión de su base de apoyo o de sustentación. En relación a esto, se indica que un cuerpo está equilibrado cuando la proyección del CdG cae dentro de la superficie que conforma la base de sustentación (14). De acuerdo con esto, y a nivel fisiológico, el equilibrio postural se podría definir como las estrategias sensorio-motoras necesarias para mantener el CdG dentro del polígono de sustentación y así garantizar la estabilidad postural ante perturbaciones externas (15). En caso contrario, en el que la proyección del CdG sobrepasa los límites de la base de sustentación, el individuo se encontrará en desequilibrio, incrementando el riesgo de sufrir una caída (12,14,15).

5.3. SISTEMA POSTURAL

El sistema postural (SP), es un sistema complejo de definir y precisar, concebido principalmente para garantizar el control postural (en adelante, CP). Está conformado por una gran cantidad de estructuras periféricas que proporcionan información sensorial al Sistema Nervioso Central (en adelante, SNC) (16). Una vez en el SNC, dicha información es integrada y procesada para crear esquemas corporales posturales necesarios para mantener el equilibrio en contra de la acción de la gravedad y/o de las fuerzas externas que puntualmente actúen sobre un individuo, desestabilizándolo y pudiendo generar una caída (10,17).

5.3.1. COMPONENTES DEL SISTEMA POSTURAL

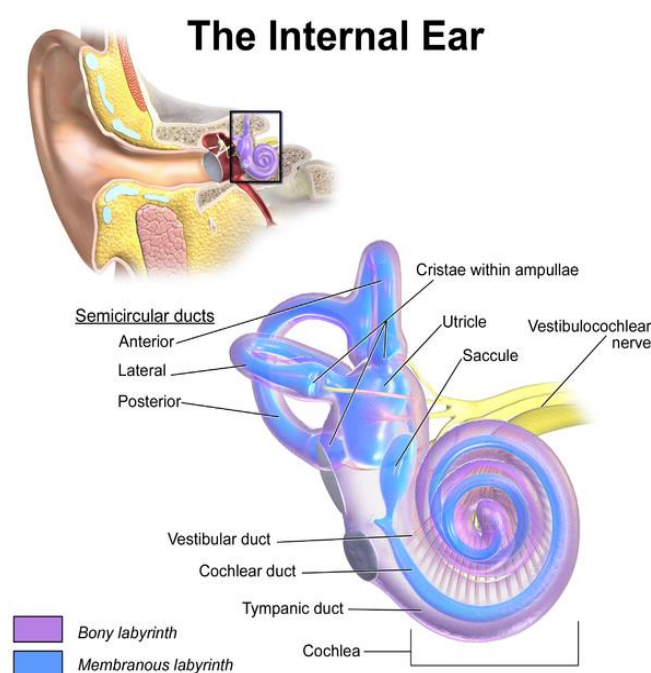
El SP está integrado por distintos órganos sensoriales periféricos como el sistema vestibular, el sistema visual y el sistema somato-sensorial donde juegan especial importancia los propioceptores y exteroceptores (18). Todos estos sistemas se encuentran modulados y coordinados por una unidad central que es el SNC (16). Éste se encarga de integrar e interpretar la información postural que le llega a partir de los diferentes receptores sensoriales (10) y así elaborar una respuesta eferente que envía a la musculatura implicada en el mantenimiento de la postura para generar una respuesta postural determinada (19,20). A continuación, se va a proceder a realizar una breve descripción anatómo-funcional de cada uno de los sistemas enumerados anteriormente.

5.3.1.1. ÓRGANOS SENSORIALES PERIFÉRICOS DEL SISTEMA POSTURAL

5.3.1.1.1. SISTEMA VESTIBULAR

El sistema vestibular representa una organización sensorial compleja de elementos que se relacionan con el sistema ocular, los músculos posturales, el tronco-encéfalo, el cerebelo y la corteza cerebral para el mantenimiento postural (21). El sistema vestibular realiza una función básica para mantener el equilibrio postural y la orientación espacial en condiciones estáticas y dinámicas ante los cambios gravitacionales en el entorno a partir de la información proveniente de las estructuras vestibulares periféricas que es procesada por los centros nerviosos superiores (22). Además, esta información vestibular se integra con la información visual captada para garantizar el correcto procesamiento de la información visual y orientar la postura del individuo (21).

El aparato vestibular periférico se encuentra en el oído interno, dentro de la porción petrosa del hueso temporal, y consta de un laberinto óseo y otro membranoso (23). En el laberinto óseo encontramos la cóclea, el vestíbulo y los canales semicirculares



(24). El interior de este primer laberinto óseo está ocupado por un líquido de similar composición al líquido cefalorraquídeo que se denomina perilinfa y sobre la que se encuentran suspendidos el laberinto membranoso, el epitelio sensorial y las estructuras del aparato vestibular (25). Por el interior de este laberinto membranoso circula otra sustancia, de similar composición al líquido intracelular, que se denomina endolinfa (23).

Figura 1. Localización y Estructura del Sistema Vestibular Periférico.

Fuente: Blausen.com staff (2014). "Medical gallery of Blausen Medical 2014". WikiJournal of Medicine 1 (2). DOI:10.15347/wjm/2014.010. ISSN 2002-4436., CC BY 3.0

5.3.1.1.1.1. Órganos vestibulares periféricos

El aparato vestibular periférico está conformado por cinco componentes sensoriales que se encargan de informar al individuo sobre la percepción de las aceleraciones (26). En el vestíbulo se encuentran el utrículo y el sáculo (conocidos también con el nombre de órganos otolíticos) que se encargan de percibir la aceleración lineal y la inclinación de la cabeza (27). Por otro lado, los canales semicirculares membranosos (superior, posterior y lateral) que se disponen en el interior de los canales semicirculares óseos del laberinto óseo, se encargan de informar sobre la aceleración angular en los tres planos del espacio (22).

5.3.1.1.1.1.1. Sáculo y Utrículo

El utrículo y el sáculo contienen receptores sensoriales para el equilibrio estático, que mantiene la posición de la cabeza en respuesta a una aceleración lineal del cuerpo, como por ejemplo comenzar a deambular o permanecer de pie (24). Para realizar su función, tanto el utrículo como el sáculo contienen un epitelio sensorial llamado mácula donde se encuentran las células ciliares (estereocilios). En el sáculo, las máculas se encuentran dispuestas en un plano vertical y son capaces de captar las aceleraciones lineales en el plano sagital relacionadas con la elevación y el descenso de la cabeza (28), mientras que las máculas del utrículo se encargan de detectar movimientos lineales en el plano coronal (inclinaciones laterales cérvico-cefálicas) y también ventro-dorsales de la cabeza (28).

Las máculas del sáculo y del utrículo se encuentran recubiertas por una membrana gelatinosa que se llama membrana otolítica. En esta membrana encontramos incrustadas unas pequeñas partículas de carbonato cálcico denominadas otoconias (29). Bajo esta membrana, encontramos las células sensoriales, que contienen distintas estructuras importantes como son los estereocilios y los quinetocilios o quiniocilios. Los estereocilios están orientados en relación a una línea curvilínea central que se denomina estriola (30), siendo ésta una zona de estrechez. Cuando se produce una aceleración lineal, los estereocilios de las células ciliadas responsables de captar dicha aceleración, orientadas hacia la estriola en el utrículo y viceversa en el sáculo, se deflexionarán hacia el quiniocilio mediante una fuerza de arrastre o de inercia (31). La flexión de los estereocilios hacia el quiniocilio va a producir una crecida de la tasa de estimulación neural, proporcional a la

intensidad del estímulo recibido. Cuando el movimiento se estabiliza, disminuye la excitabilidad de los esterocilios y la desaceleración para detener la marcha provocará otro desfase entre el movimiento de la membrana otolítica y los esterocilios, deflexionando en este caso los esterocilios en el sentido contrario al quinocilio (31).

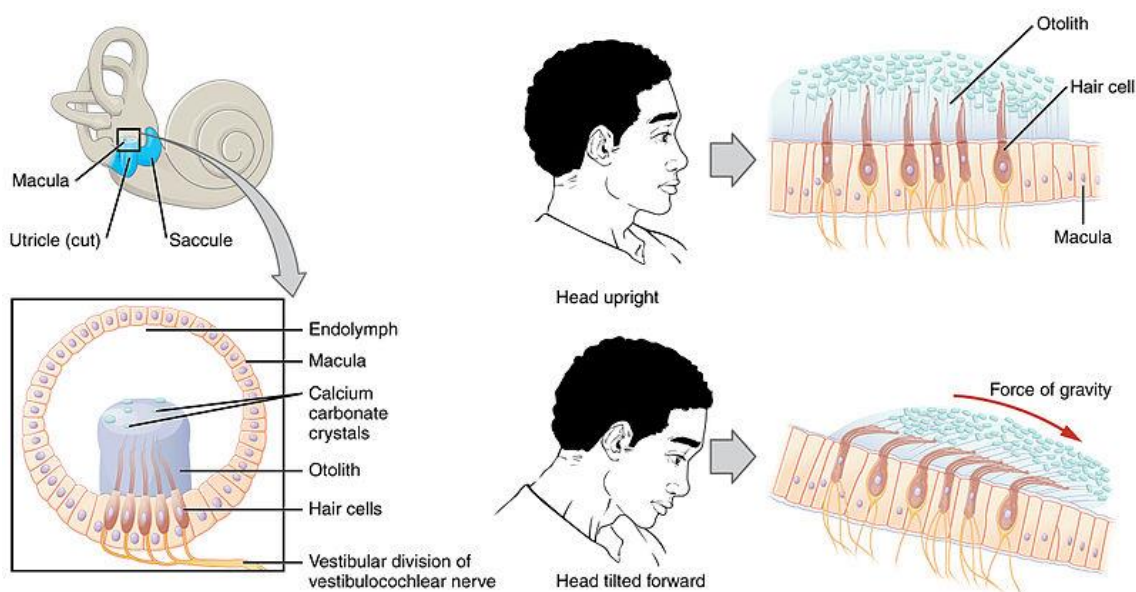
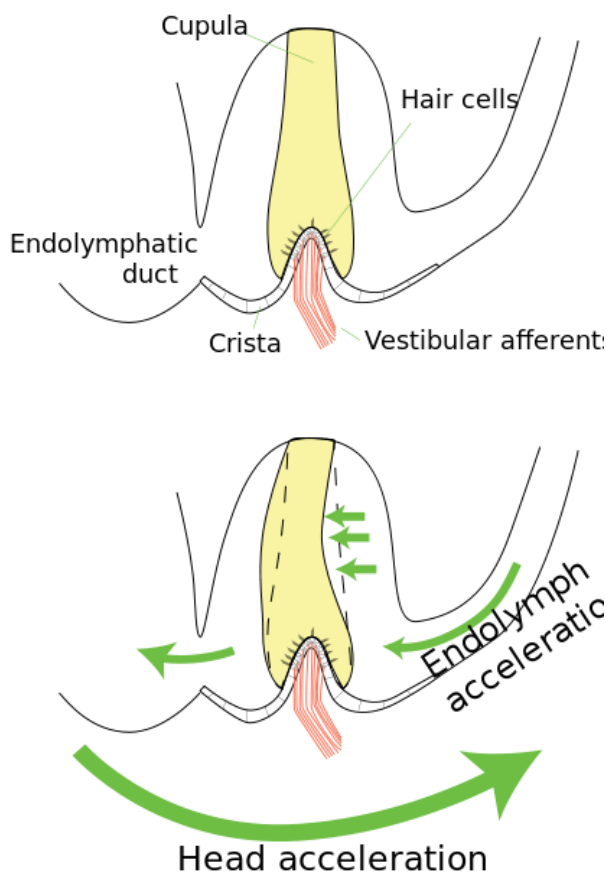


Figura 2. Disposición de las máculas de los órganos otolíticos.
Fuente: OpenStax College, CC BY 3.0, via Wikimedia Commons

5.3.1.1.1.2. Canales semicirculares

Los conductos semicirculares (tres a cada lado: superior, lateral y posterior) se sitúan en tres planos perpendiculares del espacio que corresponden a tres direcciones de movimiento de la cabeza (32). El superior (también denominado “anterior”) y el posterior se encuentran angulados a 45 grados respecto del plano sagital, mientras que los canales laterales (también denominados horizontales o externos) se encuentran angulados 30° respecto del plano axial (33). Los conductos semicirculares contienen receptores sensoriales susceptibles al equilibrio dinámico en relación a las aceleraciones rotacionales. Estos receptores sensoriales son unas células ciliadas que se encuentra en la cresta ampular o *crista ampullaris* (localizada al final de cada conducto) que está recubierta de una sustancia gelatinosa donde se encuentran incrustadas las células ciliadas (34). Los quinocilios de estas células ciliadas se encuentran orientados hacia el utrículo en el canal lateral y los del canal superior y posterior hacia el propio conducto (35). Cuando se produce una aceleración rotacional del cuerpo o la cabeza se genera un

movimiento que desplaza la endolinfa del interior del canal imprimiendo una deformación de la cúpula de las células ciliadas en el lado opuesto de la rotación (36). Dichas células transforman el estímulo mecánico proveniente del movimiento de los cilios en señales eléctricas generando un impulso nervioso que informa al SNC sobre los movimientos rotacionales de la cabeza o cuerpo (37). Debido a la posición de los



quinocilios, las corrientes ampulífugas son excitadoras en los canales verticales mientras que en los canales laterales la excitación se produce por medio de las corrientes ampulípetas. Es importante remarcar que la excitación de los canales semicirculares de un lado provoca la inhibición del lado contrario (36). Al igual que ocurre en las máculas del utrículo y del sáculo, en este caso, cuando la velocidad angular se vuelve constante, se elimina la deformación de la crista ampular disminuyendo o cesando la excitación de las células ciliadas (21).

Figura 3. Disposición de la crista ampularis en los canales semicirculares.

Fuente: Thomas.haslwanter, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

5.3.1.1.1.2. Componentes vestibulares intermedios de la transducción del impulso vestibular

5.3.1.1.1.2.1. Ganglio vestibular o de Scarpa

Las células ciliadas de los órganos otolíticos y los canales semicirculares están inervadas por neuronas bipolares del ganglio de Scarpa o ganglio vestibular que se encuentra en el interior del meato auditivo interno de la porción petrosa del hueso temporal (21,38). Las fibras periféricas de la región superior del ganglio de Scarpa terminan en la crista ampular de los conductos semicirculares superior y lateral y las fibras periféricas que provienen de la región inferior del ganglio de Scarpa inervan las máculas del utrículo y del sáculo y la crista ampular del canal semicircular posterior (30).

5.3.1.1.1.2. Nervio vestibulo-coclear

El nervio vestibulo-coclear o también llamado nervio estato-acústico es el VIII par craneal (37). Dicho nervio está formado por dos componentes distintos: (1) el nervio vestibular que se encarga de transportar la información relacionada con los movimientos lineales y angulares de la cabeza y el tronco y (2) el nervio coclear que transmite la información auditiva (39). El nervio vestibular está formado por la fusión o la integración de las fibras superiores e inferiores del ganglio de Scarpa y penetra en la fosa craneal posterior a través del conducto auditivo interno (21,38). Seguidamente atraviesa el ángulo ponto-cerebeloso para entrar en el tronco del encéfalo cerca de la interfase entre la protuberancia y la médula (37). La porción vestibular de dicho nervio realizará sinapsis en los núcleos vestibulares superior, inferior, medial y lateral (29) y de ahí pasará a otras estructuras como el cerebelo, el tálamo y el hipocampo para finalmente llegar al córtex vestibular (40).

5.3.1.1.1.3. Vías vestibulares centrales de la integración postural

5.3.1.1.1.3.1. Núcleos del complejo vestibular

Este complejo es el procesador primario que integra y orienta la información vestibular y está formado por los cuatro núcleos vestibulares (medial, superior, lateral e inferior) (21) que se localizan a ambos lados del cuarto ventrículo en la interfase entre el bulbo raquídeo y la protuberancia.

5.3.1.1.1.3.1.1. Núcleo vestibular medial

El núcleo vestibular medial (o de Schwalbe) recibe información proveniente de los axones laterales aferentes de las crestas ampulares de los canales semicirculares (21). Las fibras ascendentes viajan a través del fascículo longitudinal medial hacia los núcleos motores de los músculos extraoculares (MEO) para mediar en el reflejo vestibulo-ocular (en adelante, RVO). Lo mismo ocurre para coordinar el movimiento de la cabeza y el cuello entre la información vestibular y la información cervical a partir del reflejo vestibulo-espinal (en adelante, RVE) a través de las proyecciones descendentes del tracto vestibulo-espinal medial a la médula espinal cervical (21).

5.3.1.1.1.3.1.2. Núcleo vestibular superior

También denominado núcleo de Betcherew, recibe información de las crestas ampulares de los canales semicirculares superiores y posteriores (21). También participa en la coordinación del movimiento ocular, a partir del RVO, enviando fibras eferentes ascendentes a los MEO a través del fascículo longitudinal medial (31).

5.3.1.1.1.3.1.3. Núcleo vestibular lateral

El núcleo vestibular lateral (o de Deiters) recibe información aferente de la mácula, cresta ampular y el vestíbulo-cerebelo (21). Este núcleo emite proyecciones eferentes que forman parte del tracto vestibular lateral en la médula espinal homolateral (21). Este tracto participa en el RVE para coordinar el tono reflejo de los músculos del tronco y de los músculos extensores proximales de los miembros inferiores con el objetivo de mantener la postura y el equilibrio (21).

5.3.1.1.1.3.1.4. Núcleo vestibular inferior

También llamado de Roller, recibe la información aferente de las máculas del utrículo y el sáculo proyectándose a los otros núcleos vestibulares y al cerebelo (21).

5.3.1.1.1.3.2. Vestíbulo-cerebelo

El vestíbulo-cerebelo es un centro nervioso que se encarga de la regulación del movimiento y de la PC, y que establece conexiones nerviosas aferentes con el ganglio vestibular ipsilateral, los núcleos vestibulares bilateral e ipsilaterales y el núcleo fastigial ipsilateral, conectando este último con los núcleos vestibulares contralaterales (21). Esta área del cerebelo desempeña un rol fundamental para la creación de los reflejos posturales y la orientación espacial. Por un lado, el flóculo cerebeloso interviene en el RVO ya que ajusta la duración del mismo y participa en el proceso de la información aferente procedente de las máculas (21). Esto se produce debido a que las fibras eferentes se proyectan desde el lóbulo flocculonodular a los núcleos vestibulares y desde aquí conectan con los núcleos de los pares craneales III, IV y VI, responsables de la motilidad del globo ocular (41). Por otro lado, el vermix cerebeloso regula el RVE a partir de la conjugación de la información vestibular y las señales propioceptivas de los músculos axiales (36). Las lesiones en el vestíbulo-cerebelo pueden dar lugar a diversos trastornos del

movimiento ocular provocando alteraciones en la información aferente visual necesaria para garantizar el mantenimiento postural.

5.3.1.1.3.3. Cortex vestibular

La corteza vestibular está formada por una gran cantidad de áreas multi-sensoriales que se distribuyen principalmente alrededor de la corteza somato-sensorial, la unión temporo-parietal, la ínsula anterior y posterior, la corteza parietal posterior y la corteza frontal y medial (42). Aunque las áreas del cortex vestibular no están claramente definidas, mediante estudios en primates se ha identificado que las regiones de la corteza cerebral que más impulsos vestibulares reciben son el área parietoinsular vestibular, el área V2 del surco intraparietal y el área V3 del surco central (21), siendo el área parietoinsular vestibular la principal de éstas. Estudios en humanos, han identificado la corteza vestibular parieto-insular como la región cortical primaria en el lóbulo de la ínsula responsable de la función vestibular, señalando que una posible lesión en esta estructura puede dar origen a una alteración del equilibrio y a una posible alteración de la percepción de la verticalidad (43).

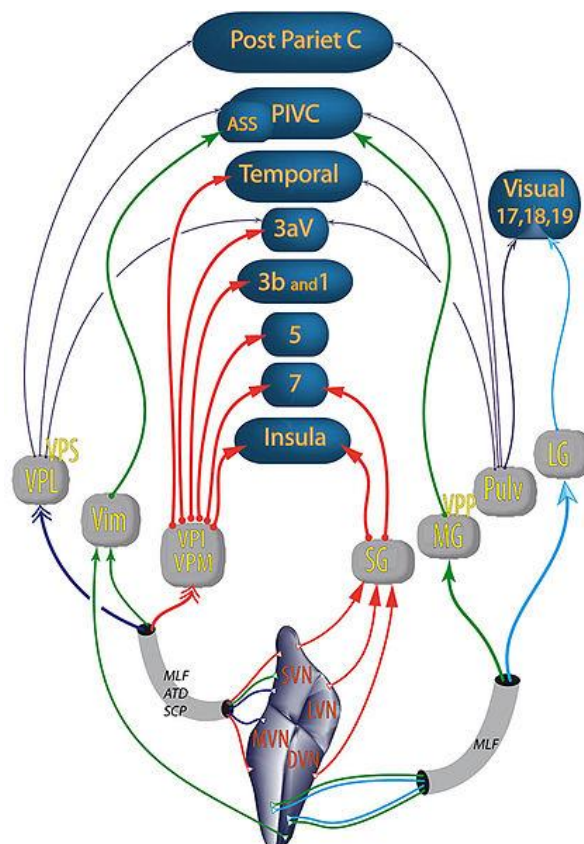


Figura 4. Integración Central de la información vestibular.

Fuente: Hitier M, Besnard S and Smith PF, CC BY 3.0, via Wikimedia Commons

5.3.1.1.2. SISTEMA VISUAL

El sistema visual contribuye a la capacidad para mantener el equilibrio del individuo a partir de la orientación espacial y la percepción visual del movimiento (16). El sistema visual es uno de los sistemas sensoriales más complejos que aporta información necesaria para el mantenimiento del equilibrio y la construcción del sentido de la verticalidad (44). Está formado por el sistema óptico (el ojo), la retina, la MEO, el nervio óptico y los pares craneales relacionados con la movilidad ocular (nervio motor-ocular común, el nervio troclear y el nervio abducens) (36).

5.3.1.1.2.1. Componentes periféricos del sistema visual

5.3.1.1.2.1.1. El globo ocular

El ojo es un órgano con forma de esfera que se aloja en la cavidad orbitaria del macizo facial formada por los huesos cigomático, esfenoides, palatino, nasal, etmoides, maxilar, lacrimal y frontal (45). Es el órgano sensorial encargado de captar los estímulos luminosos del medio que rodea al cuerpo (46,47). La anatomía del ojo está constituida por diferentes elementos dispuestos en tres capas: (1) la capa externa que alberga la córnea y la esclerótica; (2) la capa media o úvea, la cual está muy vascularizada y pigmentada y está integrada por el iris, el cuerpo ciliar y la coroides; y (3) finalmente se encuentra la capa interna o retina (48).

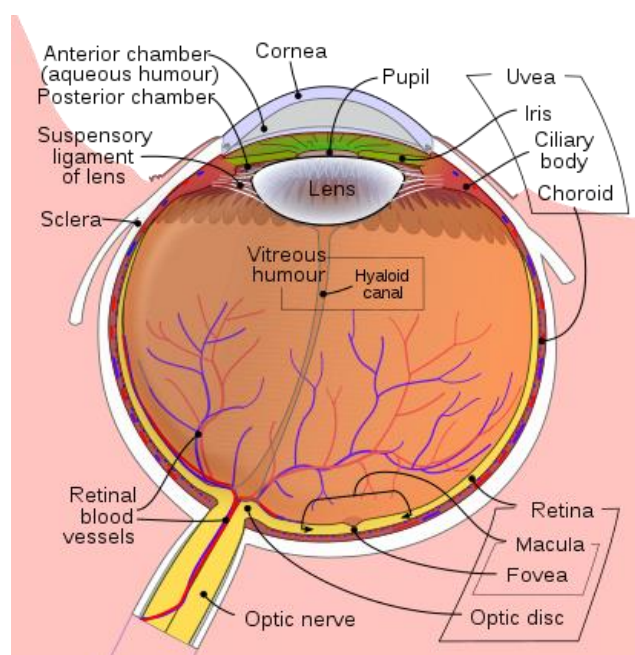


Figura 5. Anatomía del globo ocular.

Fuente: Rhcastilhos. And Jmarchn., CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

5.3.1.1.2.1.2. La retina

La retina se localiza en la capa más interna del ojo y es la única que, embriológicamente, tiene un origen neural derivado del diencéfalo, ya que proviene del ectodermo (49). La retina se extiende desde la ora serrata hasta la papila. Dentro de la retina se encuentra la neuroretina que es la unidad funcional del SNC que se encarga de transformar las señales luminosas en impulsos nerviosos (50). La región postero-central de la retina se denomina mácula y en el centro de la mácula se dispone la fovea (51). En el centro de la fovea aparece una depresión llamada foveola que es el punto de la retina con mayor agudeza visual debido a la mayor densidad de fotorreceptores en ese área (52). En la retina también se encuentra la papila que es un punto ciego que carece de fotorreceptores y que contiene la arteria y vena retiniana centrales además de ser el punto de salida de las fibras ópticas nerviosas (53). En la retina se encuentran varios tipos de células relacionados con la captación de la imagen visual y la transducción y transmisión del impulso nervioso como los fotorreceptores, las células ganglionares y bipolares y las células gliales (54).

5.3.1.1.2.1.2.1. Fotorreceptores: conos y bastones

En la retina existen alrededor de 100 millones de fotorreceptores (54). Éstos se encargan del fenómeno de transducción de las señales luminosas en impulsos nerviosos y pueden ser de dos tipos (55). Por un lado, los conos que se encuentran dispuestos principalmente en la fovea o retina central y son los encargados de detectar la información visual de alta resolución en color (56). Por otro lado, los bastones que se encuentran distribuidos por la retina periférica y su función es captar imágenes de baja resolución en blanco y negro. Además, los bastones también se encargan de percibir el movimiento y resultan fundamentales, tanto ellos como la integridad de la retina periférica, para el mantenimiento del equilibrio, especialmente cuando el sujeto se mueve en un entorno cambiante (54,56).

Cuando los fotorreceptores se despolarizan al captar las señales luminosas hacen sinapsis con las células bipolares, las cuales modulan los estímulos luminosos recibidos desde los fotorreceptores que a su vez sinaptan con las células ganglionares. La despolarización de un fotorreceptor se produce de manera lenta, proceso que incrementa

su velocidad conforme avanza la información por las células ganglionares. A partir de aquí la información visual en forma de impulso nervioso viaja por el nervio óptico.

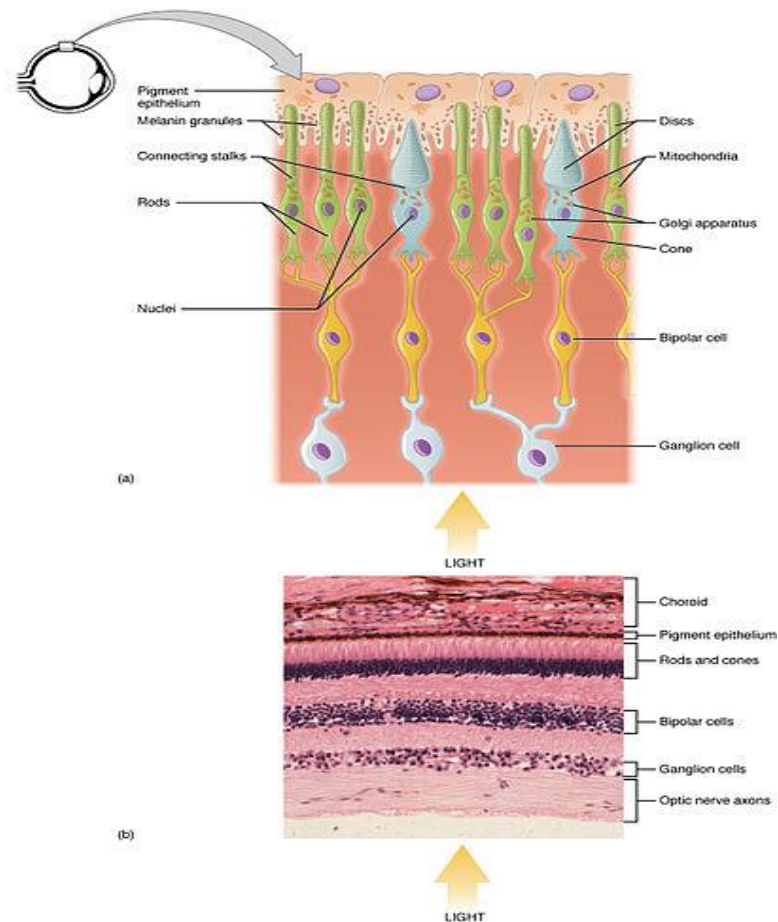


Figura 6. Fotorreceptores en el epitelio de la retina.

Fuente: OpenStax College, CC BY 3.0, via Wikimedia Commons

5.3.1.1.2.2. Componentes visuales en la transducción y transmisión del impulso visual

5.3.1.1.2.2.1. Nervio óptico

El nervio óptico es el segundo par craneal y está compuesto por axones de las células ganglionares originadas en la retina externa (57). El número de axones disminuye con la edad pudiendo disminuir la agudeza y la percepción visual del individuo para observar el medio que le rodea (58). El nervio óptico abandona la cavidad orbitaria por el agujero óptico del ala menor del hueso esfenoides (59). De aquí pasará al canal óptico para acabar finalmente en la fosa craneal media formando la porción intracraneal del nervio óptico (60). Ambos nervios ópticos confluyen para formar el quiasma óptico en la región postero-superior del tallo pituitario.

5.3.1.1.2.2. Vías visuales centrales

El tracto óptico correspondiente a la visión de cada ojo conduce la información hacia el cuerpo geniculado lateral del mesencéfalo, pasando la menor parte de esta información visual por el colículo superior y los núcleos de Edinger-Westphal para permitir la inervación parasimpática de la pupila (60–62). A continuación, se forman los tractos géniculo-calcarinos que finalizan en la circunvolución cuneus y lingual de la corteza visual primaria (Área 17 de Broadmann) en el lóbulo occipital (63).

5.3.1.1.2.3. Musculatura extrínseca del ojo

Bordeando externamente el globo ocular se ancla la musculatura ocular común o MEO que es la responsable de orientar el ojo en las distintas direcciones del espacio (64). El complejo de la MEO está formado por seis músculos que son el oblicuo superior e inferior y los rectos superior, inferior, medial y lateral (64). Estos músculos trabajan de manera coordinada con los músculos del ojo contralateral. Todos estos músculos, a excepción del recto lateral (inervado por el nervio abducens y el oblicuo superior inervado por el nervio troclear (47,65)) reciben inervación del nervio motor ocular común (66).

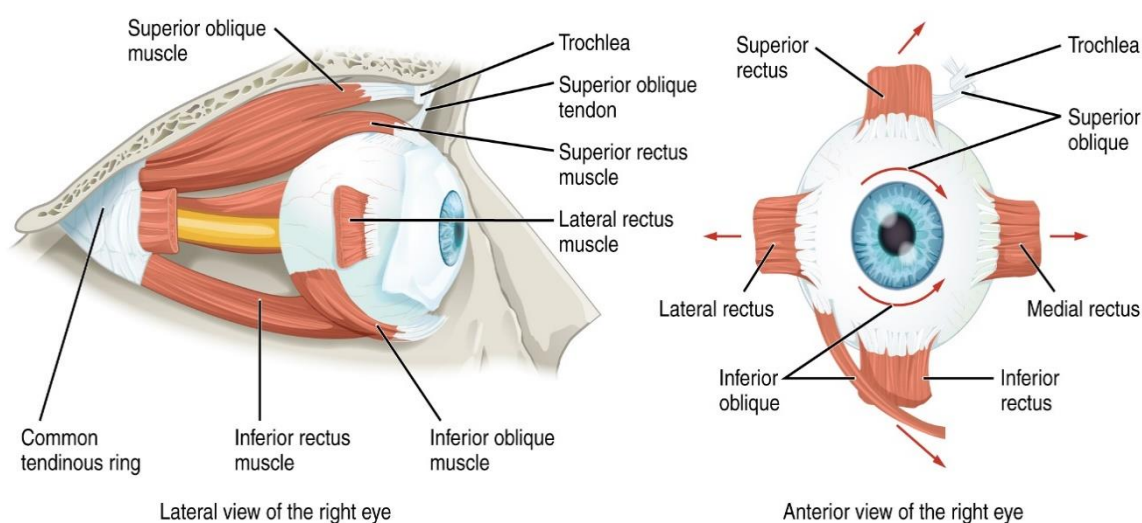


Figura 7. Disposición anatómica de la musculatura extraocular.
Fuente: OpenStax College, CC BY 3.0, via Wikimedia Commons

5.3.1.1.3. SISTEMA PROPIOCEPTIVO

El sentido de la propiocepción está formado por una variedad de estructuras y mecanismos involucrados en la transducción de estímulos mecánicos en impulsos nerviosos (67). La propiocepción se refiere a la capacidad del ser humano para detectar los cambios en el tono y la tensión muscular y de apreciar el nivel de estiramiento de la

cápsula articular y ligamentos (68) con el objetivo de percibir la posición y el movimiento del cuerpo y de las extremidades en el espacio (69).

El sistema propioceptivo o somato-sensorial está conformado por los propioceptores que son receptores nerviosos distribuidos por la musculatura, los tendones y en los complejos cápsulo-ligamentosos. La función de los propioceptores es registrar los cambios de posición y velocidad de deformación de los segmentos anatómicos en los que se encuentran (70). Además de los propioceptores, también encontramos una serie de mecanorreceptores cutáneos o exteroceptores, localizados en la piel y que perciben los cambios en la deformación de la piel tras ejercer sobre ella una determinada fuerza (10). Especialmente, cabe destacar la función de los exteroceptores plantares cutáneos que proporcionan información espacial y temporal sobre las variaciones de presión que se perciben en la planta del pie (71). Esta información es necesaria para mantener el equilibrio a partir de una respuesta postural correctiva en sentido caudo-craneal y que comienza con la contracción de los músculos plantares (72). Los propioceptores se distribuyen a lo largo de todo el organismo, formando una cadena propioceptiva caudo-craneal (73), para informar de la posición general del cuerpo y relacionar la superficie de apoyo con la posición de la cabeza, donde se halla el sistema visual y vestibular (74). La unión de la información propioceptiva a la vestibular y visual será esencial para garantizar el correcto mantenimiento postural (18). La información recolectada por los propioceptores es integrada en el SNC (75) mediante una serie de vías nerviosas ascendentes que conectan la médula con los centros superiores (76) donde se combina con la información visual y vestibular para mantener el equilibrio del individuo.

5.3.1.1.3.1. Receptores propioceptivos

Las aferencias propioceptivas o “profundas” responden a los cambios experimentados en el tono y tensión muscular y a los movimientos de las articulaciones (77). Encontramos tres tipos de aferentes propioceptivos (69):

5.3.1.1.3.1.1. Husos neuromusculares

Los husos neuromusculares (en adelante, HNM) son receptores sensoriales de estiramiento dispuestos en paralelo en el interior del vientre muscular en un estado de pre-tensión constante, de tal manera que cualquier cambio en la longitud del músculo es

captado por estos HNM para informar al SNC del cambio en la longitud de las fibras musculares (78), el grado de estimulación mecánica y la velocidad del estiramiento (67). La velocidad de respuesta del HNM va a depender de la longitud del músculo y de la velocidad a la que ésta cambia (79). La función principal de la información suministrada por los HNM será la de facilitar la inhibición de la musculatura antagonista de un movimiento para permitir dicho movimiento (80). De manera secundaria también favorecerá la contracción de la musculatura sinergista para inducir una respuesta muscular a un cambio gravitacional y así poder mantener el equilibrio (80).

5.3.1.1.3.1.2. Órgano tendinoso de Golgi

El órgano tendinoso de Golgi (OTG) es un receptor sensorial propioceptivo encargado de captar los cambios de tensión en la musculatura esquelética informando al SNC (81). El OTG se encuentra en una zona del tendón muy próxima a la unión miotendinosa (fusión entre las fibras musculares y las fibras de colágeno del tendón) y en las aponeurosis musculares (82). De manera secundaria, el OTG también muestra cierta sensibilidad ante situaciones de estiramiento muscular debido a la tensión que se genera en el tendón con el propio estiramiento (83).

5.3.1.1.3.1.3. Receptores articulares

Los receptores articulares son receptores propioceptivos sensoriales localizados en las cápsulas articulares y en los ligamentos adyacentes a éstas (67). Estos receptores se caracterizan por ser sensibles a los cambios de tensión y estiramiento que se producen en la articulación, a los movimientos articulares y a la contracción de la musculatura que se inserta en la cápsula (84). Se han descrito tres tipos de receptores articulares: los corpúsculos de Ruffini (activos en todo momento y que responden a cambios tensiles en el complejo cápsulo-ligamentoso), los corpúsculos de Pacini (sensibles a los cambios en la longitud del ligamento) y los órganos de Golgi presentes en los ligamentos (85). Diversos estudios sugieren que estas estructuras juegan un papel secundario en el sentido de la propiocepción, siendo su propia función la de alarma ante un posible daño articular en situaciones de elevado estrés mecánico cápsulo-ligamentario (67,86).

5.3.1.1.3.2. Vías nerviosas propioceptivas

Las vías ascendentes que envían información propioceptiva están conformadas por tres neuronas: la primera se localiza en el ganglio espinal, la segunda en el cuerno dorsal de la médula y la tercera en los núcleos talámicos que proyectan a la corteza somato-sensorial.

Los axones procedentes de los receptores propioceptivos (neurona de primer orden) se agrupan por fascículos que unidos a otros fascículos se dirigen a los ganglios de la raíz dorsal, donde se encuentra el soma de dichos axones (87). Esta primera neurona realiza sinapsis con su homóloga de segundo orden en los núcleos de las columnas dorsales o columna dorsal-lemnisco medial ascendiendo por la médula espinal a través de los tractos medulares posteriores (fascículus gracilis o de Goll y fascículo cuneatus o de Burdach) hasta llegar al tálamo (88). El tálamo somato-sensorial va a recibir impulsos de los núcleos de la columna dorsal contralateral a través de la vía lemnisco medial y lemnisco trigeminal (89). Desde el tálamo la información se proyecta a la corteza cerebral por medio de la neurona de tercer orden.

5.3.1.1.3.3. Corteza cerebral

Justo detrás de la cisura de Rolando, se encuentra el cortex antero-parietal o corteza somato-sensorial primaria, que es la región cortical cerebral encargada de recibir la información somato-sensorial propioceptiva y exteroceptiva (67,90), entre otras. Dicha región se divide en cuatro regiones que son las áreas 3a, 3b, 1 y 2 de Broadmann (91), aunque solo el área 3b se considera como corteza somato-sensorial primaria propiamente dicha (92).

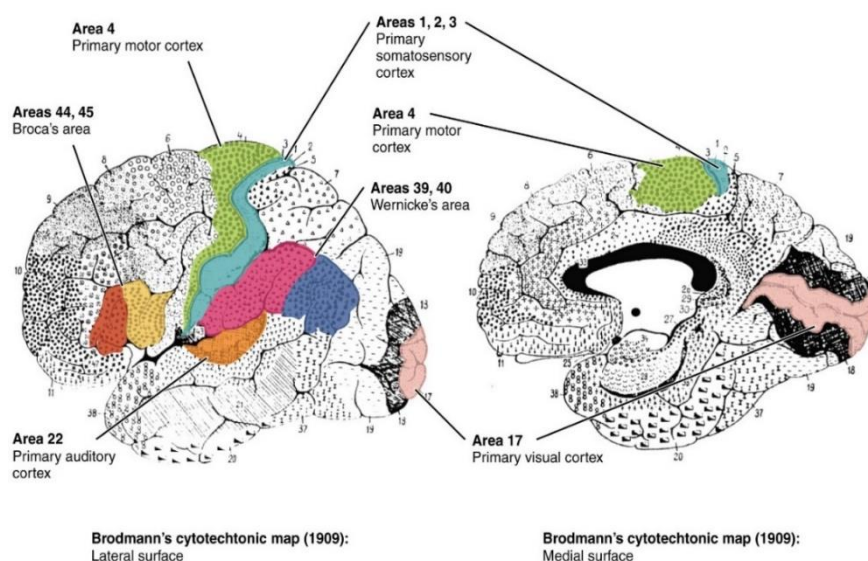


Figura 8. Corteza Somatosensorial y Áreas de Brodmann

Fuente: OpenStax, CC BY 4.0, via Wikimedia Commons

En el área 3b se encuentran neuronas que responden a la estimulación cutánea y a diferentes entradas táctiles (67). Las neuronas del área 3b establecen íntimas relaciones con las del área 3a (responsables de dar respuesta a estímulos propioceptivos), con neuronas del área 1 y 2 de Brodmann (de las cuales el 90% de las del área 1 responden a estimulación cutánea y las del área 2 responden tanto a estímulos propioceptivos como cutáneos) y finalmente con la corteza parietal lateral (67,93).

5.3.2. CONTROL POSTURAL

5.3.2.1. DEFINICIÓN DEL CONTROL POSTURAL

El CP no solo es el resultado de una serie de reflejos estáticos de equilibrio y de enderezamiento, sino también se ha de considerar como la habilidad motora aprendida basada en la interacción de procesos sensorio-motores dinámicos en respuesta a determinadas fuerzas (15). De manera simplificada, el CP se define como la habilidad o capacidad para mantener el equilibrio en un entorno gravitatorio (15). El CP implica el dominio de la posición del cuerpo, o de una parte del mismo, en el espacio con dos principales objetivos, orientación y equilibrio postural (94). Por un lado, la orientación postural puede definirse como el mantenimiento de las relaciones eficientes entre las partes del cuerpo y el organismo con el entorno durante la realización de una actividad determinada (7). Y por otro lado, el equilibrio postural que es crucial para mantener la posición de bipedestación, la deambulación y el movimiento del cuerpo humano (18).

El CP se realiza a partir de la interacción compleja entre SNC, el sistema músculo-esquelético y la información proveniente de los sistemas vestibular, visual y somatosensorial (95). Consiste en un sistema complejo de respuestas musculares y articulares para garantizar la correcta relación entre el CdM corporal y la base de apoyo (16). El SNC se encargaría de modular y mediar la información que recibe para generar las respuestas musculares adaptativas que garanticen la consecución de la estabilidad postural (96).

Descrito de manera más específica, la información aferente llega a los centros inferiores del SNC que se encargan del control básico del CP y desde aquí se proyecta a los centros superiores estableciendo contacto con la corteza cerebral (97). En los centros

superiores se interpreta esta información y se emiten las respuestas adaptativas que viajan hacia los órganos efectores (sistema músculo-esquelético), para coordinar su actividad y modificar así la estática o dinámica postural de un individuo en relación a una perturbación gravitacional que esté recibiendo o a un movimiento determinado.

Diversas afecciones en los órganos y sistemas sensoriales encargados de captar la información postural, así como de las vías o centros superiores de integración postural, pueden alterar la respuesta muscular adaptativa dando lugar a una alteración postural en el sujeto.

5.3.2.2. ESTRATEGIAS DE CONTROL POSTURAL

En un entorno bien iluminado, un individuo cualquiera con una buena base de apoyo recibe información multi-sensorial (vestibular, visual y propioceptiva) útil para mantener el equilibrio de manera adecuada (98). Para garantizar la PC correcta se necesita una contracción mantenida de la musculatura esquelética que, controlada por el SNC, realiza ajustes posturales instantáneos que se traducen en respuestas musculares adaptativas a los cambios gravitacionales del entorno (96). Estos ajustes posturales reciben el nombre de estrategias del CP y son el resultado de la integración en el SNC de estímulos multi-sensoriales exteroceptivos y propioceptivos que provienen de los sistemas visual, vestibular y/o somato-sensorial (14). Dichas estrategias pueden ser anticipatorias, compensatorias o una combinación de ambas (99). Las estrategias anticipatorias o predictivas del CP pueden implicar un movimiento voluntario o el aumento del tono y/o actividad muscular como respuesta anticipada ante una perturbación gravitacional percibida o intuida por el individuo (100). Por otro lado, las estrategias compensatorias o reactivas se caracterizan por la realización de un movimiento o de una respuesta muscular justo después de que el individuo haya recibido una alteración gravitacional (101). Dichas estrategias pueden ser de soporte fijo, si es el centro de gravedad el que se desplaza y la base de sustentación podal permanece estática siendo un ejemplo de éstas la estrategia de tobillo (102) y la de cadera (103); o de cambio de apoyo si se produce una modificación dinámica de la base de sustentación, es decir, los pies cambian su posición debido a que el centro de gravedad se ha desplazado del perímetro formado por esta base (99), como ocurre en la estrategia del paso o alcance (104). Estas

estrategias son utilizadas aleatoriamente por los individuos para volver a su estado de equilibrio en condiciones estáticas (105).

5.3.2.3. RELACIONES ENTRE LAS AFERENCIAS SENSORIALES DEL SNC

Las relaciones entre los distintos componentes sensoriales responsables del CP es un fenómeno que hace referencia a la puesta en común (integración y procesamiento) de la información postural procedente del vestíbulo, la visión y el sistema somato-sensorial antes de que llegue a corteza cerebral, de tal manera que la información de un determinado sistema influye en la que proviene de otro, actuando coordinadamente para crear una respuesta motora adaptativa y efectiva. La actuación de una vía sobre otra mejora la integración de la información postural y permite al individuo usar más de un sistema de información cuando la información que procede de otro es deficiente o está abolida (*sensory reweighting* o reponderación sensorial) (106). Por ejemplo, cuando se produce un deterioro en las aferencias vestibulares, visuales o somato-sensoriales (107), el cerebro tiene que tomar más información proveniente de los otros dos sistemas restantes que quedan indemnes para conseguir posicionar de manera correcta la cabeza en relación al cuerpo y así garantizar la orientación correcta de éste en el espacio (108). Esta habilidad propia del SNC recibe el nombre de reponderación sensorial y es la capacidad necesaria de regular e integrar la información sensorial para poder adaptarse a entornos cambiantes o entornos donde se precise de un tipo de información en detrimento de las demás (109).

Esas íntimas relaciones entre las distintas aferencias posturales del SNC quedan materializadas en el RVO, el RVE y el reflejo vestíbulo-cólico (RVC). Así, el RVO favorece la coordinación del movimiento de los ojos para ayudar a estabilizar una imagen en la retina (concretamente en la fovea) durante la rotación de la cabeza (110). El objetivo del RVO es hacer que el globo ocular permanezca fijo permitiendo una visión clara independientemente de que se produzcan movimientos de la cabeza en los tres planos del espacio (111). Seguidamente, el RVE se encarga de participar en el mantenimiento postural (112) ya que implica la integración en el tronco del encéfalo y en el cerebelo de la información procedente del aparato vestibular el cual por vía refleja aporta información a las motoneuronas del asta anterior de la médula para contraer la musculatura antigraavitacional (21). Finalmente, el RVC consiste en una respuesta compensatoria de

los músculos cortos del cuello en reacción a los estímulos vestibulares provocados por los movimientos rotacionales de la cabeza (113).

5.4. VERTICALIDAD

5.4.1. CONCEPTO DE VERTICALIDAD

La orientación espacial en relación a las fuerzas gravitacionales recibidas es fundamental para mantener una posición de verticalidad cuando un individuo se encuentra en bipedestación o durante la marcha (18). La posición vertical es la posición más utilizada que un individuo mantiene a lo largo del día para realizar sus actividades de la vida diaria (en adelante, AVD), laborales, de cuidado personal o de ocio (114). La percepción de la verticalidad se define como la percepción de alineación del cuerpo con respecto a la gravedad de la Tierra (o gravitacional terrestre) (115).

5.4.2. NEUROFISIOLOGÍA DE LA PERCEPCIÓN DE LA VERTICALIDAD

Tal y como previamente se hizo referencia, el utrículo y el sáculo son los órganos encargados de detectar las aceleraciones lineales de la cabeza o del cuerpo (116). Dichos órganos desempeñan un papel esencial para percibir la verticalidad bidimensional (sin componente angular) (117). Sin embargo, los canales semicirculares también aportan información para construir el esquema de la percepción vertical, otorgando el componente tridimensional a la orientación espacial (118). En ausencia de la información somatosensorial o visual, o en condiciones estáticas, es el sistema vestibular el que constantemente emite información aferente para construir el sentido de la verticalidad (119). La información aferente llega a los núcleos vestibulares que están conectados con los centros superiores de integración para coordinar los movimientos óculo-cefálicos verticales y rotacionales a través de dos circuitos bilaterales localizados en el tegmento rostral del mesencéfalo (el núcleo intersticial de Cajal y el núcleo intersticial rostral del fascículo longitudinal medial) y el tálamo (el subnúcleo dorsolateral y paramedial) (118).

Sin embargo, también se precisa de la información que envía el sistema visual y propioceptivo al SNC para crear un modelo interno de verticalidad (97) que se actualiza mediante procesos neurales ascendentes y descendentes (120). Por tanto, la información

recibida desde el sistema visual y propioceptivo junto a la información vestibular es fundamental para obtener una orientación tridimensional de la verticalidad en el espacio con respecto a la gravitacional terrestre (118). Sin embargo, de estos tres sistemas, son los sistemas vestibular y visual los que aportan más información sobre la orientación vertical (118). Cuando se combina la información proveniente de estas tres vías se integra y procesa en el tronco-encéfalo y de aquí se envía a distintas zonas del hemisferio cerebral (121). La unión de la información procedente de los tres sistemas, una vez transportada a la corteza cerebral, nos permite tener una representación cortical de la verticalidad del propio individuo, del individuo respecto al ambiente que le rodea y/o de los elementos que hay en dicho ambiente (122). De igual manera, en función de la información emitida o cesada por cada sistema en un momento determinado se puede producir un cambio en el propio modelo de la percepción de la verticalidad, lo que podría dar lugar a una alteración de la verticalidad.

Estudios de neurofisiología y neuroimagen publicados en los últimos años han dado a conocer las áreas del cerebro que participan en la construcción del sentido de la verticalidad (123). Dichas estructuras son la circunvolución temporal media y superior, la circunvolución frontal inferior, el lóbulo de la ínsula, el cortex parietal, la unión temporo-parietal y el tálamo posterolateral (124–126) el cual juega un papel fundamental en la integración de los estímulos vestibulares y somato-sensoriales (114). Además en él encontramos la regulación de la orientación espacial y la percepción del movimiento (127).

5.4.3. MEDICIÓN DE LA PERCEPCIÓN DE LA VERTICALIDAD

A lo largo de la evolución científica de este concepto se han diseñado numerosos experimentos para medir y analizar empíricamente el sentido o la percepción de la verticalidad y las posibles alteraciones en el mismo, así como intentar descifrar qué estructuras del SNC participan en la integración y representación de la verticalidad (128). El análisis clínico de la orientación corporal en el espacio se realiza de numerosas formas a partir de la medición de la verticalidad, tales como la Vertical Postural Subjetiva (VPS) (117); la Vertical Háptica Subjetiva (VHS) (129) y la Visual Vertical Subjetiva (VVS) (130). La utilización de distintas formas de medir la verticalidad tiene como objetivo

imputar y/o cuantificar el tipo de entrada sensorial que interviene en cada condición. Así, por ejemplo, la información vestibular y la información somato-sensorial de la musculatura del tronco y las extremidades inferiores se pueden analizar principalmente con la VPS (18); las aferencias vestibulares principalmente con la VVS (sin referencias visuales); las aferencias propioceptivas principalmente con la VHS (131) y las aferencias visuales o dependencia visual con el Test de la Varilla y el Marco (TVM) o en inglés Rod and Frame Test; RFT (132). En la siguiente tabla se resumen las aferencias analizadas en función de la prueba utilizada.

	Sistema vestibular	Sistema visual	Sistema propioceptivo
Postural Vertical Subjetiva	X	-	X
Vertical Háptica Subjetiva	-	-	X
Visual Vertical Subjetiva	X	-	-
Rod and Frame Test	-	X	X

Tabla 1. Pruebas para evaluar la verticalidad y sistemas que impute

Fuente: Elaboración propia

5.4.3.1. VERTICAL POSTURAL SUBJETIVA

La prueba de la VPS o en inglés *Subjective Postural Vertical (SPV)*, se utiliza para analizar la percepción de la orientación del cuerpo de un individuo en relación a la vertical gravitacional que percibe (133,134). Para analizar la VPS, se sienta al sujeto en un dispositivo basculante, una especie de silla o mesa, que se inclina en la oscuridad y que los sujetos pueden devolver a la posición vertical mediante un controlador (135). Es decir, con el sujeto sentado en este dispositivo y carente de estímulos visuales (los ojos vendados o en situación de máxima oscuridad), el investigador lo inclina hacia un lado u otro y luego le pide al individuo que restaure la inclinación del dispositivo hasta que él estime que está colocado verticalmente (136). Es importante señalar el hecho de que esta prueba se realiza privando al sujeto de retroalimentación visual para poder analizar de manera más específica la contribución del aparato vestibular y el sistema somato-sensorial a la estimación de la verticalidad (137).

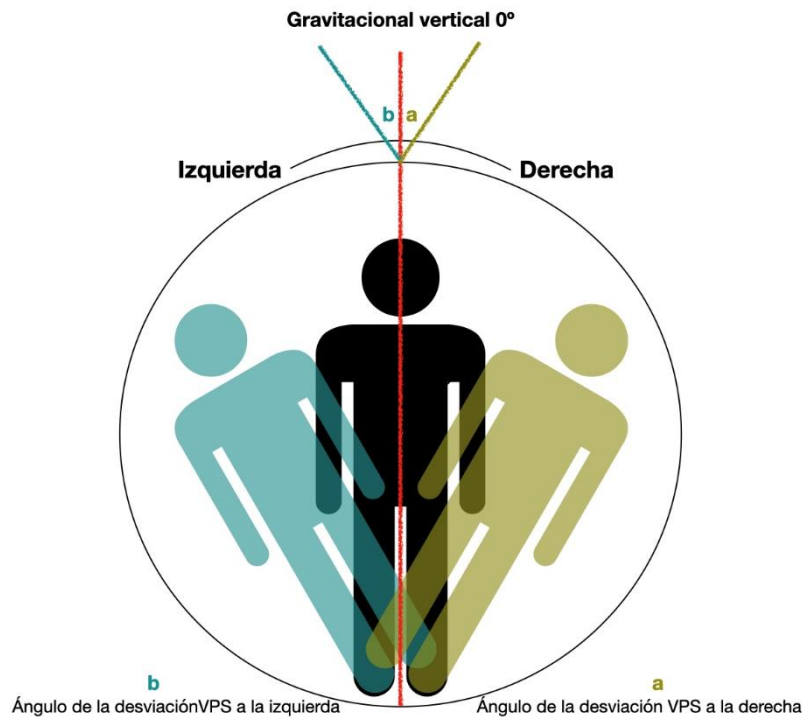


Figura 9. Vertical Postural Subjetiva

Fuente: Elaboración Propia

5.4.3.2. VERTICAL HÁPTICA SUBJETIVA

En la prueba de la VHS (en inglés *Subjective Haptic Vertical*), se persigue analizar y/o cuantificar la aportación propioceptiva a la construcción del sentido de la verticalidad (131). Esta prueba presenta la ventaja de evitar el sesgo de inclinación del cuerpo que podría influir en el resultado final de la percepción de la verticalidad (138). En dicha prueba, realizada con el sujeto sentado y en condiciones de privación visual (que evita el aporte de información visual para construir el sentido de la verticalidad), se le da un joystick háptico o barra giratoria manual, la cual partiendo de una posición inclinada tiene que devolver a su estado vertical (139). Esta prueba evalúa la verticalidad a partir de la información somato-sensorial propioceptiva proveniente de los receptores sensoriales musculares, articulares (cápsulo-ligamentosos) y exteroceptores (137) a partir de la posición que toma la mano en el espacio (140).

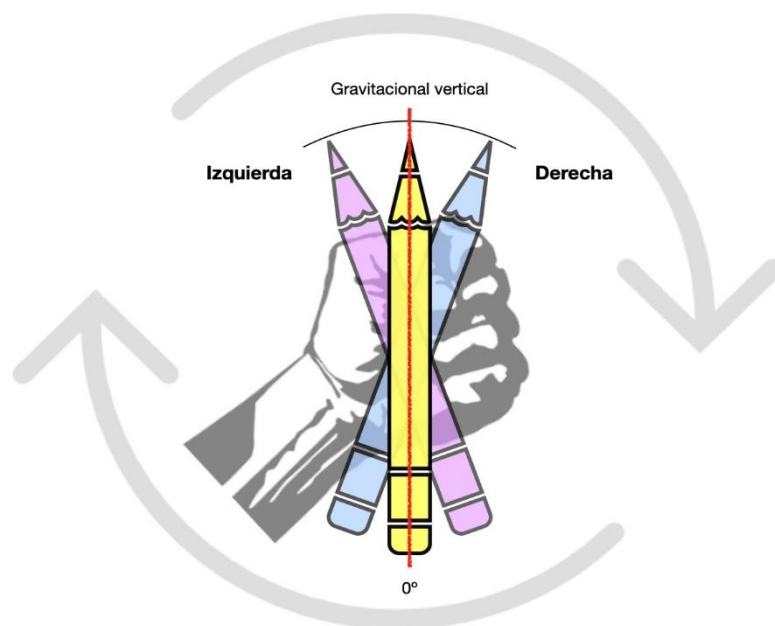


Figura 10. Vertical Háptica Subjetiva
Fuente: Elaboración Propia

5.4.3.3. VISUAL VERTICAL SUBJETIVA

La visión permite al sujeto reconocer la verticalidad de los objetos que lo rodean. En condiciones de normalidad, hasta las inclinaciones más leves son susceptibles de ser detectadas visualmente sobre la base del modelo interno de verticalidad de cada individuo (130). Por lo tanto, al contrario que en las otras dos pruebas descritas anteriormente donde se anulaba el campo visual, sería pertinente realizar un análisis de la verticalidad a partir de los estímulos visuales que recibimos (130). De manera complementaria a esta medida, existe otra que se basa en el análisis de la ortogonalidad. Este parámetro hace referencia a la relación existente entre la verticalidad y la horizontalidad. Para el estudio de la horizontalidad, se ha ideado otra prueba llamada Horizontal Visual Subjetiva en la que se insta a un individuo a que coloque una línea recta, que está proyectada digitalmente en una pared o la pantalla de una computadora, en la posición en la que considere que está horizontal (perpendicular a la gravitacional vertical) (141) y en la cual una desviación de más/menos dos grados respecto de la verdadera horizontal se considera anormal (142). No obstante, la presente Tesis se centra en evaluar el concepto de verticalidad visual (en adelante, VV) por lo que las pruebas analizadas hacen referencia al análisis de la percepción de VV y no de horizontalidad. Para analizar y cuantificar la VV se han desarrollado numerosas pruebas que se describen a continuación.

5.4.3.3.1. Test clásico de la Visual Vertical Subjetiva

El test clásico de la VVS, en inglés *Subjective Visual Vertical (SVV)* es el test más utilizado para analizar la percepción de la VV en la práctica clínica y la investigación (143). Dicha prueba evalúa mayoritariamente la contribución del sistema vestibular a la construcción del sentido de la verticalidad (144) a través de la presentación de una imagen al sujeto. La prueba de la VVS consiste en colocar de manera vertical una línea en condiciones de oscuridad sin que existan referencias visuales verticales para el paciente, es decir, una línea clara desnuda sobre un fondo oscuro o sobre un fondo con infinidad de puntos aleatorios (145,146) los cuales pueden permanecer fijos (evaluación de la VVS estática) o en movimiento (evaluación de la VVS dinámica) (147). Como es lógico, para poder llevar a cabo esta prueba se precisa tener capacidad visual. Sin embargo, esto nos puede llevar a errores y pensar que con esta prueba estamos evaluando eminentemente el peso de la información visual para la creación del sentido de la verticalidad, ya que para poder realizar la prueba utilizamos la visión.

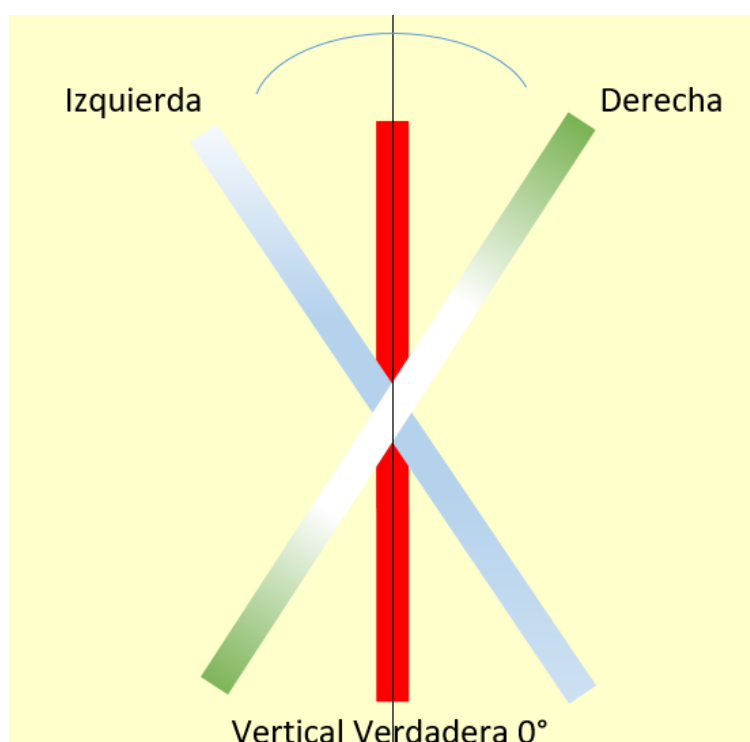


Figura 11. Vertical Visual Subjetiva

Fuente: Elaboración Propia

Al suprimir durante la prueba de la VVS cualquier referencia visual vertical (exceptuando la línea que el paciente debe recolocar) se evalúa principalmente la aportación del sistema vestibular (o el estado del mismo) y de las vías vestibulares

graviceptivas (trayecto nervioso entre los núcleos vestibulares y el fascículo medial del mesencéfalo) para la construcción y actualización constante del sentido de la verticalidad (135). Diversos estudios han postulado que dicha prueba es apta para evaluar el aporte vestibular en la construcción del sentido de la verticalidad ya que el 90% de los sujetos con daño en aparato vestibular periférico o vías nerviosas vestibulares presentaban una percepción errónea de la VV cuantificada con el test clásico de la VVS (145). Debido a esto, esta prueba es considerada como la prueba *gold standard* para analizar la función otolítica vestibular (148) y la alteración de la percepción de la VV como expresión de un desequilibrio en las aferencias vestibulares (144) debido a una lesión en las estructuras vestibulares periféricas y sus conexiones nerviosas (149).

5.4.3.3.1.1. Heterogeneidad procedimental para evaluar la VVS

En torno al protocolo de realización de la prueba de la VVS existe una gran heterogeneidad en la literatura científica que se pone de manifiesto por la variabilidad de procedimientos, parámetros, medidas de resultado y configuración o número de intentos con los que se realiza la prueba de la VVS (144). Entre ellas destacan, por un lado, los test analógicos, como el test del cubo o el método de la cúpula hemisférica; y por otro, los test computerizados o digitales basados en la proyección de la línea en pantallas a partir de la utilización de ordenadores, de aplicaciones de móviles o de gafas de realidad virtual (RV) (como la prueba digital de la VVS o el TVM).

5.4.3.3.1.1.1. Test del cubo

El test del cubo o *bucket test* se realiza a partir de un instrumento validado para medir analógicamente la percepción de la VV en sujetos con alteración vestibular periférica, sujetos con alteración neurológica como el infarto del mesencéfalo o accidente cerebro vascular, y en sujetos con alteración de la motilidad ocular (150). Como se ha mencionado antes, al ser un protocolo concreto de medida de la VV, con el test del cubo se está analizando principalmente la función vestibular (151). Para la realización de este test se sienta al paciente que mirará a través de un cubo traslúcido colocado delante de su cara cubriendo todo el campo visual y anulando cualquier referencia visual vertical externa que pudiera recibir (152,153). En el fondo del cubo se encuentra una línea recta, calibrada analógicamente con la gravitacional vertical (118). El examinador gira el cubo delante de la cara del paciente para inclinar la línea y le pide al sujeto que le indique

cuando está el cubo alineado de nuevo con la posición vertical. Cuando el sujeto estima que la línea que contiene el cubo está alineada con la verdadera vertical, el sujeto da un orden para que el examinador pare de mover el cubo y registre el valor de la inclinación (154). Se puede llegar a repetir la prueba hasta 10 veces (150).

Esta herramienta tiene una serie de ventajas, tales como su facilidad de construcción, bajo coste y accesibilidad, así como que los resultados son fáciles de interpretar y que está validada (150). Sin embargo, el hecho de que sea un dispositivo analógico y que se precise de la calibración manual hace que pueda haber sesgos o errores en los resultados (150). Para superar este error inicial, se han hecho implementaciones tecnológicas del test del cubo con la utilización del inclinómetro de dispositivos móviles. En este sentido encontramos la app “*Visual Vertical iOS app*” que utiliza un iPhone cuyo inclinómetro incorporado sustituye a la línea de plomada alineada con la vertical gravitacional de la prueba clásica (149). Sin embargo, los resultados hallados con esta prueba no distan de los del test original del cubo en controles sanos por lo que parece no haber diferencias en esta prueba entre los mecanismos analógicos y digitales en ausencia de disfunción utricular (149).

5.4.3.3.1.1.2. Test de la cúpula hemisférica

El método de la cúpula hemisférica, en inglés *hemispheric dome method*, es una prueba que se utiliza para evaluar la percepción de la VV estática y dinámica (145). Para su realización se precisa de un dispositivo con forma de cúpula de unos 60 cm de diámetro que se coloca delante del campo visual de los sujetos analizados, evitando que éstos vean otra cosa más allá del fondo de la propia cúpula. En el interior de dicho dispositivo se dibujan puntos aleatorios de colores que no proporcionan pistas sobre la correcta estimación de la vertical (145). Previamente, se coloca el paciente en sedestación delante de la cúpula y se fija la barbilla apoyando la cabeza en un barboquejo (150). La cúpula se rota aleatoriamente hacia uno u otro lado provocando con ello la inclinación de la línea que hay en su interior (145). Finalmente, se le pide a los pacientes que devuelvan esa línea a la posición vertical con la utilización de una palanca o joystick manual (118). La prueba tal y como fue validada debe de ser repetida en 10 ocasiones, al igual que en el test del cubo, pero con la diferencia de que en esta prueba la fijación de la cabeza a partir de la barbilla reduce aún más si cabe los inputs propioceptivos que se reciben de la

musculatura profunda del cuello pudiendo obtener una evaluación más exclusiva de la función vestibular. Con esta prueba también se puede determinar la VVS dinámica rotando durante un tiempo de 20 segundos la cúpula en sentido horario y antihorario (sin provocar desplazamiento en la línea que el paciente ha de recolocar) a una velocidad angular de 40°/s y luego pedirle al sujeto que coloque vertical la línea según su criterio(145). Esta prueba se puede utilizar para evaluar la función del sistema vestibular periférico (otolitos y nervio vestíbulo-coclear) y para analizar las vías vestibulares graviceptivas del mesencéfalo, de ahí que se utilice también en sujetos con alteración neurológica del SNC.

5.4.3.3.1.1.3. Evaluación computerizada de la VVS

La evaluación por ordenador de la VVS, en inglés *Computerized Visual-Spatial Program* (155), es un procedimiento mediante el cual los individuos tienen que alinear verticalmente una línea clara sobre un fondo oscuro digital (es decir, una línea que aparece en la pantalla de un ordenador o monitor) (155). Este es un sistema más sofisticado, caro y menos accesible que los dos anteriores (118,156). Este método permite calcular otros dos parámetros psicofísicos como son el error constante y el umbral de diferencia (esta información será proporcionado más adelante, en el epígrafe 5.4.3.3.1.2. *Heterogeneidad en cuanto a los valores de la VV*) (155).

5.4.3.3.1.1.4. Prueba de la VVS basada en realidad virtual

En los últimos años, la proliferación de las técnicas de RV, gafas 3D y diseño de aplicaciones móviles ha permitido que muchos tests de evaluación y terapias puedan ser implementados con esta tecnología. La percepción de la VV no ha sido una excepción y un equipo de investigadores de la Universidad de Jaén (España) ha logrado desarrollar esta prueba bajo el marco de la RV y hacerla accesible a la población ya que puede ser utilizada con un teléfono móvil en los sistemas operativos Android e iOS (157). Esta prueba supera algunas dificultades que tenían las anteriores a ella como el alto coste, el difícil acceso, la creación de dispositivos que solo pudiesen ser utilizados para esa prueba o la necesidad de que la habitación estuviera a oscuras. Esta nueva forma de evaluar la VV permite la personalización de la prueba ya que se pueden modificar parámetros como la angulación inicial en la que aparece la línea, el lado al que está angulada, configurar el número de repeticiones del test y además también permite realizar el test estático y

dinámico (157). Sin embargo, entre sus limitaciones está que el TVM no está aún implementado.

Este procedimiento para evaluar la percepción de la VV se basa en la utilización de un visor 3D compatible con *Google Cardboard*, un smartphone con una pantalla OLED y un joystick manual conectado al smartphone vía Bluetooth® con el que el paciente manipula la línea para recolocarla en vertical según su criterio (157). Los datos provenientes de la estimación de la VVS, los datos del paciente y todas las modificaciones que se puedan hacer se controlan a partir de un software virtual donde la comunicación entre el smartphone y dicho software se realiza a partir de *Google Firebase* (157).

Para el análisis de la VV, tanto estática, dinámica o para el análisis de la horizontal visual subjetiva, se sienta al paciente en posición erguida con la espalda recta y los pies apoyados en el suelo en un ambiente tranquilo con iluminación débil y se le coloca en la cabeza un visor 3D que contiene el móvil en la pantalla del cual se visualizará la prueba (158). A la misma vez se le da al individuo el joystick bluetooth con el que manipulará la línea. El sistema proyecta la línea en la pantalla del smartphone que está siendo visualizada en el sistema de RV y el individuo tiene 30 segundos por intento para recolocar verticalmente la línea (158). La prueba se realiza en 10 ocasiones y se obtiene el error absoluto medio. Los valores normales de la VVS en esta prueba son los que oscilan entre +2.5 grados (desviación a la derecha) y -2.5 grados (desviación a la izquierda) (144,158).

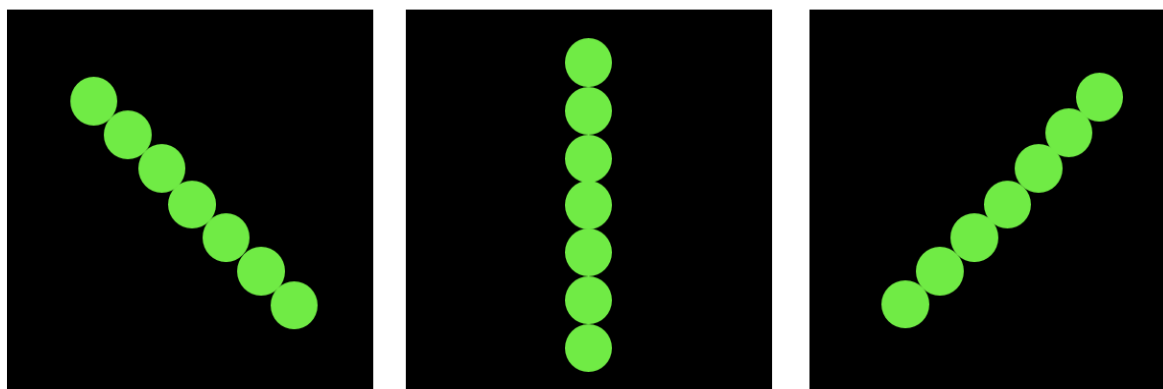


Figura 11. Evaluación de la SVV con la app creada por los investigadores de la Universidad de Jaén
Fuente: Elaboración Propia

5.4.3.3.1.1.5. Test de la varilla y el marco

El TVM es una prueba que se basa en los principios de la VVS, pero se diferencia de la VVS en que el TVM sí aporta referencias visuales que ayudan, o no, al individuo a orientar de manera correcta la línea vertical. Al cambiar el diseño de la prueba también cambia el objetivo de la misma. La prueba del TVM fue desarrollada por Witkin en los años 50 del siglo pasado para clasificar estilos cognitivos de los sujetos (159). Posteriormente, fue desarrollado por Oltman en 1968 (160) utilizándose para medir la aportación de la visión a la construcción del sentido de la verticalidad. El TVM se encarga, por tanto, de evaluar la dependencia visual, es decir, si el SNC utiliza mucho las aferencias visuales para estimar la VV u orientarse espacialmente (161). El objetivo de esta prueba era clasificar a los individuos como visualmente dependientes o visualmente independientes (162).

Para poder llevar a cabo esta evaluación, a la forma clásica de medir la VV en la que aparece una línea sola que hay que situar verticalmente, se añade un marco que la encuadra. La prueba del TVM consiste en ajustar verticalmente esa línea que se proyecta dentro del marco sobre un fondo oscuro (163). El marco que encuadra la línea puede o no aparecer inclinado respecto a la vertical gravitacional. De esta manera, la información visual correcta o incorrecta que recibe el paciente a partir de la posición del marco puede influir en los resultados de la percepción de la VV. El marco actúa como un distractor o una señal visual errónea para influir en la estimación de la VV. En este caso podemos encontrar pacientes que muestren una alteración de la VV ya que no son capaces de alinear correctamente la varilla puesto que se dejan influir mucho por la inclinación del marco. Estos pacientes se llamarán visualmente dependientes (164). Por otro lado, habrá sujetos que estiman de manera correcta la VV por muy inclinado que esté el marco distractor, denominándose estos pacientes como visualmente independientes (164). Un input visual erróneo en individuos visualmente dependientes podrá afectar a la estimación correcta de la VV, generando situaciones de desequilibrio temporal y aumentando el riesgo de caídas (165). Por otro lado, los individuos visualmente independientes se apoyan más en las señales vestibulares y propioceptivas que en la visión (166). En esta última clasificación de los individuos un problema en la información vestibular y propioceptiva podría ser la que generara tal desequilibrio. El rango en los que se estima una correcta percepción de la VV cuando se analiza con el TVM oscila entre $\pm 4.5^\circ$ (161).

Cuando los inputs vestibulares están alterados por una lesión en el sistema vestibular periférico, en el nervio vestibulo-coclear o en las vías vestibulares graviceptivas, el SNC incrementa la participación de los inputs visuales para poder compensar la falta de información vestibular, por lo que el cerebro cada vez se hace más dependiente de la información visual y menos de la vestibular. Llega un momento en el que el individuo usa mayoritariamente su visión para equilibrarse, y cuando se produce un cambio en la orientación de los elementos que le rodean y que percibe por la visión, éste, al ser visualmente dependiente, tiende a desorientarse espacialmente y a tomar referencias erróneas de los elementos que le rodean, alterando por lo tanto su modelo interno de verticalidad y pudiendo provocar una pérdida de equilibrio. Debido a esto, el TVM se utiliza para evaluar la aportación o dependencia visual en aquellas situaciones en las que hay un agente patológico que puede alterar o eliminar la información procedente de la propiocepción o del sistema vestibular. Es decir, ante patologías vestibulares o alteraciones músculo-esqueléticas se ha utilizado esta prueba para evaluar cuánto se apoyan los individuos en su visión, o, dicho de otra manera, cuánto ha cambiado su percepción de la VV a partir de que el individuo tome como principal fuente de información la que recibe por la visión.

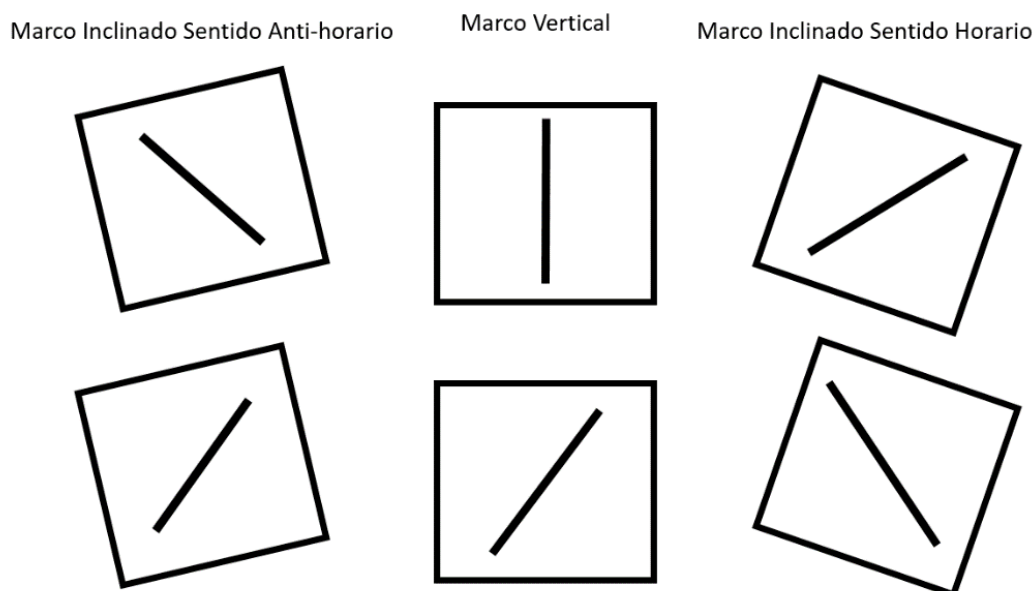


Figura 13. Test de la Varilla y el Marco

Fuente: Elaboración Propia

5.4.3.3.1.2. Heterogeneidad en cuanto a los valores finales de la VVS

En función de la literatura consultada, existe disparidad de opiniones al indicar el rango de valores que se pueden asumir como normales para el error que puede cometer un sujeto a la hora de estimar la VV. Algunos autores consideran que la percepción visual normal de la verticalidad se produce cuando el resultado final de la prueba de la VVS oscila entre +2 y -2 grados (167,168) de acuerdo a las sugerencias de Dichgans et al (169) (indicando + la desviación en sentido horario y – la desviación en sentido antihorario). Otros autores proponen el rango entre +2.5 y -2.5 grados de desviación respecto a la línea de la gravedad (170–172). Una revisión sistemática llevada a cabo en el año 2016 por Piscicelli et al (144), intentó resolver esta disparidad de criterio aunque con limitaciones. La limitación más importante es que dicha revisión sistemática estaba integrada por 61 estudios que analizaban la VV en sujetos con alteración neurológica (accidente cerebro vascular, infarto del mesencéfalo, etc) por lo tanto la estandarización del parámetro que se presenta solo debe de ser consideraba robusta para este tipo de pacientes. La conclusión de esta revisión fue que los valores de la estimación de la visual vertical ente ± 2.5 grados deberían considerarse normales para uso en la práctica clínica y en la investigación y que una variación de ≥ 2 grados entre las medidas repetidas puede interpretarse como un cambio real en la percepción de la VV (173).

5.4.3.3.1.3. Heterogeneidad en cuanto al número de intentos de la VVS

Otro punto de disparidad a la hora de analizar la VV es el número de intentos o veces que debe realizarse la prueba de la VVS, habiendo estudios en los que se realiza en 2 ocasiones (174), otros en 3 intentos (158), otros en 6 veces (147) e incluso llegando hasta 30 repeticiones de la prueba (175). Pocos estudios realizan un número impar de repeticiones, favoreciéndose siempre los múltiplos pares de intentos (176,177). La mayor parte de los estudios que analizan la VVS utilizan 10 intentos para estimar un resultado final (178,179).

La literatura reciente estima que el número adecuado de intentos a realizar la prueba de la VVS oscila entre 6 y 10 repeticiones (143), y en el caso de tratarse pacientes con alteraciones neurológicas centrales como accidente cerebro vascular (en adelante, ACV) debería de hacerse como máximo en 10 ocasiones (178). En un estudio del año 2015, Piscicelli (143) sugirió que con 6 intentos se puede detectar una alteración de la

VV al menos en el 90% de los casos que presenten una alteración neurológica. La explicación de no realizar más de 10 intentos en el caso de sujetos con alteraciones neurológicas es la aparición de la fatiga y la disminución de la atención durante la realización de la prueba (143,144).

5.4.3.3.1.4. Heterogeneidad en cuanto a la expresión del resultado de la VVS

El cálculo de la medida de resultado del test de la VVS se puede enfocar desde diferentes perspectivas. Por un lado, se puede calcular la magnitud de la desviación en valor absoluto, esto es, sin tener en cuenta la dirección de la desviación en sentido horario o antihorario. Por otro lado, se puede cuantificar la alteración en la percepción de la VV y registrar la lateralidad de la línea. Por lo general, diferentes parámetros se calculan operando con los valores y la dirección de las medidas en las diferentes repeticiones realizadas durante la ejecución del test.

Si se tiene en cuenta la orientación o inclinación final de la línea tras realizar la prueba, la variable de resultado que se utiliza es el error constante. Dicho estimador se calcula promediando los grados de desviación en los sucesivos intentos llevado a cabo por el paciente en cada prueba (180).

Otra forma de expresar el resultado de la prueba es mediante la estimación del error absoluto medio. Consiste en dar a conocer el error promedio, sin signos, de todas las repeticiones realizadas. Con el error absoluto medio no se atiende a la dirección de la desviación de la medida en relación a la vertical gravitacional (156), sino que refleja la alteración simple del modelo interno de representación de la verticalidad a partir de la evaluación de los inputs vestibulares y somato-sensoriales (114) (criterio de incertidumbre). Este criterio está poco reportado en la literatura y tampoco se sabe con certeza cuál es la mejor forma para estimar la incertidumbre en el análisis de la percepción de la VV. Para informar sobre el criterio de incertidumbre tenemos varias medidas, entre las que está el error absoluto medio, la desviación estándar del error medio y la máxima diferencia entre la inclinación en sentido horario y antihorario.

Otra forma de expresar el resultado final de la percepción de la VV provenía del intervalo de incertidumbre propio de la prueba computerizada de la VV, que indica el

rango completo de valores en los que el sujeto considera la línea mostrada como similar a la verdadera vertical en cada intento (156).

5.4.3.3.1.5. Otros aspectos que aportan variabilidad a la prueba de la VVS

La inclinación inicial de la barra también es una cuestión que se trata de manera distinta en cada investigación. Se recomienda no comenzar la prueba de la VVS con inclinaciones muy acentuadas ni a la derecha ni a la izquierda ya que esas inclinaciones pronunciadas pueden sesgar los resultados haciendo que se altere la verdadera percepción de la VV (135). Esto daría lugar a la aparición de falsos positivos ya que la excesiva inclinación inicial de la barra puede hacer que personas libres de disfunción sensorial periférica, central o de las vías integradoras puedan estimar erróneamente la VV (181).

Otro elemento que aporta heterogeneidad a la prueba es la forma de respuesta del sujeto, es decir, la manera en la cual el sujeto interacciona con el instrumento de medida o el instructor para realizar la prueba (173). Algunos tests, como el del cubo, se basan en órdenes verbales, mientras que otros se basan en la utilización de un dispositivo manual, como el ratón de un ordenador, un joystick o un potenciómetro (incluso un inclinómetro háptico en el caso de la VHS). De momento no se ha llegado a un consenso en cuanto a la manera de realizar la prueba, sin embargo, podemos pensar que en función de la alteración que presente el paciente puede ser más conveniente una forma u otra. Queda claro que en el caso de sordera, hipoacusia o apraxia resulta más efectivo decantarse por dispositivos de interacción manual. Por otro lado, en el caso de hemiparesia o hemiplejía puede que resulte más efectivo utilizar la interacción verbal entre el sujeto y el examinador para realizar la prueba (144).

Y finalmente, otra de las fuentes de heterogeneidad en el protocolo de medida de la VV es la posición del paciente durante el desarrollo de la prueba de la VVS. En la mayoría de los estudios se realiza la prueba con el sujeto en bipedestación o en posición de sedestación erguida, con el cuerpo relajado y con los pies apoyados en el suelo. Con respecto a la posición de la cabeza, la mayoría de las veces está libre (test del cubo) mientras que en otras se fija a través del apoyo de la barbilla. En función del tipo de paciente será más conveniente sentarlo o no, especialmente en aquellos en los que haya una alteración neurológica o vestibular que comprometa su estabilidad postural. La

prueba se debe de realizar en un ambiente tranquilo y atendiendo a las peculiaridades de cada modalidad de análisis de la VV (173).

5.4.4. ALTERACIONES DE LA VERTICALIDAD VISUAL

La literatura científica reporta una gran variedad de trastornos posturales que pueden ser atribuidos a un daño en los receptores sensoriales relacionados con el CP, así como en estructuras del SNC. Se sospecha que la lesión de alguna estructura periférica relativa a un determinado sistema sensorial, de las vías nerviosas de la transducción y transmisión de la información sensorial o de los centros superiores del SNC donde se integra, procesa y se construye el modelo interno de verticalidad, podrían generar un error en la estimación de la VV. Diferentes estudios han dado a conocer síntomas concomitantes que acompañan a la alteración de la VV como son las alteraciones del equilibrio y el aumento del riesgo de caídas (118), el mareo, los vértigos y la inestabilidad postural (182).

Numerosos estudios han analizado la percepción de la VV en una gran variedad de patologías que afectan a los sistemas del procesamiento postural observándose un nexo común que es la afectación de la capacidad de percibir y procesar las señales que contribuyen a la conformación del sentido de la verticalidad a nivel central. Sin embargo, también es relevante el estudio de las estructuras periféricas sensoriales cuyo daño también podría inducir una estimación errónea la VV, debido a la alteración en los mecanismos de entrada de la información postural.

De manera específica, podemos encontrar lesiones de los órganos vestibulares periféricos y de las vías nerviosas del aparato vestibular (183), alteraciones visuales (184), lesiones músculo-esqueléticas que condicionan la propiocepción por un daño en la musculatura del raquis cervical (180) o lumbar (185) o por las alteraciones en la postura que inducen patologías como la escoliosis idiopática (186), así como alteraciones neurológicas centrales (187) que podrían alterar la percepción de la VV del propio individuo y su orientación en el espacio. Cuando se produce esto, resultaría de vital importancia identificar cuál es la estructura lesionada y cómo afecta su lesión a la percepción de la VV, así como evaluar el estado de los sistemas intactos y la información que captan.

5.4.4.1. ALTERACIONES NEUROLÓGICAS CENTRALES

Las alteraciones neurológicas centrales (en adelante, ANC) se definen como un conjunto de patologías cuyos síntomas se deben a una lesión en el SNC. Las lesiones del SNC se pueden producir a nivel del tronco cerebral o de la propia corteza cerebral, afectando a estructuras corticales clave para la integración, procesamiento y construcción del modelo interno de la verticalidad como son la corteza somato-sensorial, visual y vestibular (118). Además, en el SNC se relaciona la información postural proveniente de los órganos sensoriales periféricos vestibulares, visuales y propioceptivos, por lo que la lesión de dicho sistema podría alterar la percepción de la VV a partir de la alteración de los reflejos posturales. Las ANC pueden estar provocadas por una alteración en la circulación sanguínea de la corteza cerebral (como el accidente cerebro vascular) (188–190), del tronco-encéfalo (191) o del cerebelo (176,192) y también por alteraciones neurodegenerativas tales como el Parkinson (193,194) o la esclerosis múltiple (195). Cualquier alteración en la perfusión cerebral por un daño en las arterias cerebrales anterior, medio y/o posterior podría ocasionar daños en la corteza somato-sensorial, vestibular y visual pudiendo generar errores en la percepción de la VV.

La eventual alteración de la VV ha sido muy estudiada tanto en el ACV como en las complicaciones asociadas a esta patología como el Síndrome del Empujador o en la Heminegligencia (196). Sin embargo, la profusión de estudios publicados y la variabilidad intrínseca de la patología estudiada no ha posibilitado la obtención de un conocimiento exhaustivo sobre la posible alteración de la VV en dicha patología, así como la respuesta a otros interrogantes relacionados con la naturaleza del ACV (isquémico o hemorrágico) o con el tiempo transcurrido desde que se produjo el suceso vascular.

5.4.4.2. ALTERACIONES MÚSCULO-ESQUELÉTICAS DEL RAQUIS

Las alteraciones músculo-esqueléticas del raquis hacen referencia a cualquier daño presente en una estructura del aparato locomotor (músculos, tendones, huesos, ligamentos y/o articulaciones) que provocan una alteración en la movilidad de la columna y cursan con dolor músculo-esquelético cervical, dorsal o lumbosacro (197). Las

alteraciones músculo-esqueléticas del raquis que cursan tanto con dolor como principal síntoma (cervicalgias, dorsalgias y lumbalgias (198,199)) como con deformidades estructuradas de la columna (como la escoliosis idiopática (200,201)) pueden alterar la función normal de la musculatura generando una distorsión en la información propioceptiva (202), la cual es necesaria para integrarse con la información vestibular y visual a la hora de construir el modelo interno de verticalidad.

Además del dolor de espalda, otros síntomas secundarios en las alteraciones músculo-esqueléticas del raquis son las alteraciones en el control cefálico, el mareo, el vértigo, los acúfenos y las alteraciones del equilibrio (203). Esta sintomatología se presenta de manera concomitante en las lesiones cervicales por traumatismo mecánico y pueden estar relacionadas con la musculatura encargada del control cefálico y con el aparato vestibular. La alteración en la musculatura suboccipital, íntimamente relacionada con el sistema vestibular y visual para garantizar el control cefálico y la horizontalidad de la mirada, puede ser la responsable de esta alteración del equilibrio (109). En otras patologías como la escoliosis idiopática se ha hipotetizado con una posible alteración ontogénica en el sistema vestibular y una alteración propioceptiva constante debido a las rotaciones tridimensionales de la columna (204), las cuales podrían ser responsables de un equilibrio deficiente en esta población.

La percepción de la VV se ha analizado ampliamente en estas patologías siguiendo protocolos muy heterogéneos. La dolencia donde se ha analizado con mayor profundidad la percepción de la VV es el dolor cervical siendo éste en unas ocasiones mecánico inespecífico, y en otras, traumático. Esta heterogeneidad de condiciones relacionadas con el dolor espinal hace que los resultados individuales de los estudios publicados hasta la fecha sean contradictorios. De la misma forma, no existe consenso en cuanto a la posible alteración de la VV en sujetos con escoliosis idiopática, por lo que resulta imprescindible un análisis de la evidencia publicada.

5.4.4.3. ALTERACIONES VESTIBULARES PERIFÉRICAS

Las alteraciones vestibulares periféricas (AVP) son un grupo de patologías causadas por un daño en el aparato vestibular periférico y/o en las vías nerviosas vestibulares (168,205) que cursan con mareo, vértigo (206), alteración del equilibrio,

inestabilidad (207) y otros síntomas secundarios como alteraciones visuales y óculo-motoras (208), disfunciones sensorio-motoras cervicales (209) y migraña (147), entre otros. Todos estos síntomas suponen una reducción en la capacidad funcional del individuo afectando a la realización de sus AVD (210) e incrementando el riesgo de caídas (118).

El estado del sentido de la verticalidad medido a través de la VVS ha sido ampliamente estudiado en sujetos con diferentes alteraciones vestibulares (211). Diversos autores han analizado el sentido de la verticalidad en sujetos con AVP y del nervio vestíbulo-coclear en comparación con controles sanos. Por un lado, encontramos una gran variedad de AVP en las cuales se ha estudiado este fenómeno como el vértigo posicional paroxístico benigno (212), la enfermedad de Menière (213) y la hipofunción vestibular unilateral o bilateral (214). La afectación del nervio vestíbulo-coclear por schwannoma vestibular (215), la neuritis vestibular (216) y la ablación del nervio estatoacústico (217) ha supuesto otro conjunto de patologías vestibulares en los que se ha analizado la eventual alteración de la VV.

La literatura científica ha reportado que los pacientes con AVP poseen un mal equilibrio estático y dinámico y un riesgo elevado de caídas, el cual parece que podría estar relacionado con una mala percepción de la VV. Por lo tanto, es necesario poder integrar el conocimiento existente sobre la posible alteración en la percepción de la VV en sujetos con AVP para concretar el tipo y extensión de la alteración en la VV. Por otro lado, resulta fundamental considerar que si en estos sujetos puede existir una dependencia visual que debe ser estudiada. Si bien es cierto que no todas las características que aportan variabilidad a las patologías vestibulares han sido estudiadas con el mismo interés, un análisis detallado y exhaustivo de cada característica nos podría aportar evidencia fiable que permita definir la afectación del modelo interno de verticalidad en cada trastorno, así como en distintos estadios de la enfermedad.

5.4.4.4. TRASTORNOS PRIMARIOS DE DOLOR DE CABEZA

La cefalea tensional, la migraña y la migraña vestibular son los tres tipos de dolor de cabeza más frecuentes que se engloban dentro de los trastornos primarios del dolor de cabeza (TPDC) (218). Estos TPDC pueden cursar con alteraciones del equilibrio, mareos,

vértigos y alteraciones propioceptivas, dolorosas y del rango de movimiento normal de la región cervical (219). Diversos estudios han analizado la posible relación existente entre los TPDC, la región cervical (220), el aparato vestibular (221) y el sistema visual y óculo-motor (222) que puede ser responsable de los síntomas concomitantes en dichos trastornos cefalálgicos.

En los últimos años se ha incrementado el interés en el estudio de la percepción de la VV en sujetos con TPDC. En los sujetos con TPDC se han observado síntomas similares (como el vértigo y el mareo) a los que aparecen en los sujetos con AVP (223) y los sujetos con alteraciones músculo-esqueléticas del raquis (203), entre los cuales podría estar presente una alteración en la percepción de la VV. Sin embargo, no hay consenso en que la VV se encuentre alterada entre en los sujetos con TPDC de manera diferente a los controles sanos. Tampoco existe un consenso en cuanto al tipo de test de evaluación de la VV más conveniente y qué medidas de resultado obtener. Existe, por tanto, una enorme incertidumbre en cuanto a la caracterización del trastorno de la verticalidad en los TPDC, así como las implicaciones que esto tendría en el conocimiento de la fisiopatología de estas dolencias.

6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La evaluación de la percepción de la VV a través de las pruebas de la VVS y el TVM, está en auge como medida de la alteración de los sistemas que participan en el CP. Son numerosos los estudios que han analizado la percepción de la VV en pacientes con patologías que afectan al CP como las AVP y las ANC, así como en patologías que se expresan en distintas regiones corporales, como son las alteraciones músculo-esqueléticas del raquis y los TPDC. La evaluación de la VV está marcada por una gran heterogeneidad en cuanto a la instrumentación y los procedimientos de cálculo, así como en lo que respecta a la interpretación, lo que introduce confusión en cuanto a la utilidad y alcance de la prueba. A pesar de los avances tecnológicos que han posibilitado diseños innovadores de dispositivos para evaluar la VV de manera válida, fiable, accesible y fácil de utilizar, es importante destacar la ausencia de revisiones sistemáticas o meta-análisis que analicen la posible alteración de la percepción de la VV en las principales patologías que afectan al CP y los síndromes asociados a ellas.

La variabilidad de procedimientos en los estudios publicados sobre el tema ha dificultado la comprensión de las anomalías que subyacen a la alteración de la percepción de la VV. Debido a esto, resulta complicado establecer evidencias sólidas en cuanto a la posible alteración de la VV en sujetos con trastornos de los sistemas de procesamiento del CP, principalmente del SNC y del aparato vestibular, así como en los trastornos de regiones corporales que podrían relacionarse con el CP, como la región cefálica o el raquis. Por lo tanto, es fundamental realizar una recopilación y síntesis detallada de la evidencia científica disponible para establecer con claridad el nivel de alteración de la percepción de la VV en las diferentes patologías en las que se sospecha que esta percepción puede ser errónea como son las ANC, las alteraciones dolorosas y deformidades del raquis, las AVP y los TPDC. En este sentido, el objetivo general de la presente Tesis Doctoral es localizar la evidencia científica disponible hasta la fecha y analizar las diferencias en la percepción de la VV entre sujetos con alteración de los sistemas del procesamiento del CP, como el SNC y aparato vestibular, y de los trastornos dolorosos y ortopédicos de la cabeza y el raquis, frente a los controles sanos.

7. **HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

Esta Tesis Doctoral se ha diseñado con la intención de establecer una base sólida acerca del estado actual del conocimiento científico sobre la percepción de la VV. La hipótesis general de este trabajo de investigación postula que la percepción de la VV se encuentra alterada en pacientes que cursan con alteraciones en los sistemas de captación, transmisión, procesamiento e integración de la información relacionada con el CP.

El objetivo general de nuestra investigación es el de recopilar la evidencia científica disponible sobre la percepción de la VV en pacientes que cursan con alteraciones en los sistemas de captación, transmisión, procesamiento e integración del CP, y analizar si estos pacientes presentan diferencias en la percepción de la VV frente a los controles sanos.

De manera específica se plantean los siguientes objetivos secundarios:

- Analizar las diferencias en la desviación de la VV entre sujetos con ANC y controles sanos.
- Analizar las diferencias en la desviación de la VV entre sujetos con alteraciones músculo-esqueléticas del raquis cervical, dorsal y lumbar y controles sanos.
- Analizar las diferencias en la desviación de la VV entre sujetos con AVP y controles sanos.
- Analizar las diferencias en la desviación de la VV entre sujetos con TPDC y controles sanos.
- Analizar aspectos concretos de cada revisión y su implicación en la percepción de la VV.

8. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el propósito de dar respuesta a los objetivos enumerados en el marco de investigación de esta Tesis Doctoral, se plantea la elaboración de un total de cuatro revisiones sistemáticas de estudios observacionales con meta-análisis. El aspecto común en cada una de las cuatro revisiones sistemáticas es el análisis de la percepción de la VV, mientras que la diferencia de base entre ellas va a ser el tipo de patología que presentan el grupo de los casos. Así, las cuatro revisiones sistemáticas con meta-análisis que se plantean son:

- **Revisión 1:** Análisis de la percepción de la VV en sujetos con ANC: una revisión sistemática con meta-análisis.
- **Revisión 2:** Análisis de la percepción de la VV en sujetos con alteraciones músculo-esqueléticas del raquis: una revisión sistemática con meta-análisis.
- **Revisión 3:** Análisis de la percepción de la VV en sujetos con AVP: una revisión sistemática con meta-análisis.
- **Revisión 4:** Análisis de la percepción de la VV en sujetos con TPDC: una revisión sistemática con meta-análisis.

Las cuatro revisiones se plantean bajo una metodología similar que se adapta al tipo de trabajo: un análisis cualitativo (revisión sistemática) y una síntesis cuantitativa (técnica de meta-análisis). Para la elaboración de estas cuatro revisiones se han seguido las recomendaciones sugeridas por la guía del grupo MOOSE (*Meta-Analysis of Observational Studies in Epidemiology*) (224). Además, para ayudar en la escritura de la síntesis cuantitativa y complementar la guía anteriormente citada también se seguirán las recomendaciones de la Guía PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*) (225). Finalmente, dos manuales específicos para la realización de revisiones sistemáticas y meta-análisis han sido imprescindibles para poder llevar a cabo cada investigación. Destacar en primer lugar el “*Manual Cochrane de Revisiones Sistemáticas de Intervenciones*” de la Colaboración Cochrane editado por Higgins y Green (226) y, en segundo lugar, el manual “*Handbook of Research Synthesis and Meta-Analysis*” de Cooper y cols. (227).

A nivel metodológico, las fases que integran cada una de las revisiones planteadas son las que aparecen a continuación, variando de una a otra revisión el grupo de casos y

alguna posible característica típica de la patología que presenta esa población. Así, nuestras revisiones estaban conformadas por 5 fases generales:

8.1. FASE DE BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA:

En esta fase se procedió a realizar una búsqueda bibliográfica por dos autores que participaron en dicha investigación de manera independiente, donde uno de ellos siempre fue el autor de la presente Tesis Doctoral. Para materializar la revisión de la literatura científica se construyó una cadena de búsqueda adaptada a las características propias de cada base de datos. En la estrategia de búsqueda se utilizaron las etiquetas (o tags) propios de cada base de datos consultada. Las bases de datos seleccionadas, comunes a las cuatro revisiones en la mayoría de los casos, fueron *PubMed Medline*, *Scopus* y *SciELO*, aunque en las tres últimas publicaciones se implementó la búsqueda en *CINAHL Complete* y *Web of Science*. Además, también se realizó una búsqueda inversa en la lista de referencia de estudios previamente seleccionados con el objeto de identificar el mayor número de publicaciones aptas para ser incluidas en cada revisión. Para la elección de las palabras clave en la estrategia de búsqueda se cuantificaron los términos más repetidos en artículos diana de cada revisión, así como en el tesoro de *PubMed Medline (Medical Subjects Headings)* y, en algunas ocasiones, en el tesoro de *CINAHL Complete (EBSCOHOST)*. Para la construcción de la estrategia de búsqueda se siguieron las recomendaciones de Del Pino y cols. (228) mediante el uso del sistema de búsqueda SPC (Situación, Población y Cuestión). Se identificaron dos condiciones: (1) la que hacía referencia al estudio de la verticalidad, teniendo como palabras clave “*subjective visual vertical*”, “*perception of verticality*”, “*visual verticality*”, “*sense of verticality*” o “*rod and frame test*”, entre otras; y (2) la que hacía referencia a la población con palabras clave de cada patología, tal y como se puede comprobar en cada artículo incluido en esta Tesis Doctoral. Ambas condiciones fueron unidas por el operador booleano “AND” y los sinónimos de cada condición con “OR”. No se utilizaron restricciones en cuanto a idioma ni fecha de publicación para poder reclutar toda la evidencia disponible.

8.2. FASE DE SELECCIÓN DE ESTUDIOS:

Esta fase también fue llevada a cabo por dos autores de manera independiente, y cualquier duda relacionada con la inclusión de un estudio para una revisión más exhaustiva fue resuelta por un tercer investigador. En esta fase se establecieron los

criterios de elegibilidad, siendo la mayoría comunes a todas las revisiones, cambiando solamente el que hacía referencia a la población. De tal manera, se siguieron los siguientes criterios:

- Criterios de inclusión: (1) Estudios observacionales (descriptivos transversales, de casos y controles y/o cohortes); (2) que analizaran la percepción de la VV mediante la prueba de la VVS o el TVM; (3) en sujetos con patologías del ámbito de las analizadas en cada revisión; (4) en comparación a sujetos sanos; y (5) que no hubiesen recibido ninguna intervención. (6) Estudios que aportaran datos susceptibles de ser incluidos en la síntesis cuantitativa (media y desviación estándar); o (7) estudios en los que se pudiese estimar su desviación estándar a partir de otras medidas de dispersión como el rango, el rango intercuartílico o el error estándar a partir de procedimientos recogidos en el “*Manual Cochrane de Revisiones Sistemáticas de Intervenciones*” de la Colaboración Cochrane (226) y en publicaciones procedimentales de metodología de la investigación con meta-análisis como la de Hozo et al 2005. (229). Con este procedimiento, se favorece la inclusión de un mayor número de estudios en la síntesis cuantitativa.
- Criterios de exclusión: (1) Se excluyeron todos los estudios que no fuesen de tipo observacional; (2) que el grupo de casos no estuviese integrado por una muestra homogénea; (3) que no se dispusiera de grupo control con sujetos sanos; (4) que se hubiese practicado alguna intervención en algún grupo o en ambos; y (5) que no aportasen datos para ser incluidos en el meta-análisis.

8.3. FASE DE EXTRACCIÓN DE DATOS:

Una vez seleccionados los estudios para ser incluidos en cada revisión, dos autores, de manera independiente, se encargaron de extraer los datos en una hoja de cálculo estandarizada para tal fin. Los datos que se extrajeron se categorizaron en: (1) datos de publicación (autoría, fecha de publicación y diseño); (2) datos de las características del grupo de casos (tamaño muestral, edad, género, patología, evolución de la patología y datos específicos de cada estudio, tal y como se recogen en los artículos

publicados); (3) datos de las características del grupo de sujetos sanos (tamaño muestral, edad y género) y (4) datos de la evaluación de la percepción de la VV, tales como:

- Test de evaluación: Prueba clásica de la VVS o el TVM.
- Posición de evaluación: Bipedestación, sedestación o decúbito.
- Medidas de tendencia central y dispersión de la evaluación de la percepción de la VV en cada grupo: Principalmente media y su desviación estándar, o en su defecto la mediana, el error estándar, el rango o el rango intercuartílico, de acuerdo a las recomendaciones del “*Manual Cochrane de Revisiones Sistemáticas de Intervenciones*” de la Colaboración Cochrane (226).

8.4. FASE DE ANÁLISIS DE LA CALIDAD METODOLÓGICA:

Para evaluar la calidad metodológica de los estudios incluidos en cada revisión se utilizó la Escala Newcastle-Ottawa para estudios observacionales de casos y controles o cohortes (230). Dicha escala está dividida en tres secciones: selección de los estudios (puntuación máxima 4 puntos), comparabilidad (2 puntos) y evaluación de la variable o exposición (3 puntos) (231). El rango de puntuación que puede conseguir cada estudio oscila entre 0 y 9 puntos (232), donde una puntuación entre 0 y 3 puntos se considera calidad baja; de 4 a 6 puntos (calidad moderada) y de 7 a 9 (calidad alta) (231).

Seguidamente se analizó la calidad de los hallazgos individuales de cada estudio según las recomendaciones de Meader et al 2014 (233) y una selección de ítems recogidos en la escala GRADE (*Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation System*) (234) aplicables a este tipo de revisiones como la inconsistencia, imprecisión y el riesgo de sesgo de publicación. La primera se analizó con el grado de inconsistencia de Higgins (ver fase de análisis de datos) y la imprecisión con el número de estudios incluidos (precisión alta si > 10 estudios, media entre 5-10 estudios y baja < 5 estudios) y con el número de participantes por estudio (precisión alta si > 300 participantes, media entre 300 y 100 participantes y baja < 100 participantes). El riesgo de sesgo de publicación se detalla en la fase de análisis de datos. La aparición de alta heterogeneidad, imprecisión y sesgo de publicación podría afectar a la generalización de los resultados y a la solidez del tamaño del efecto hallado en cada meta-análisis, lo que haría menos fiables los resultados.

8.5. FASE DE ANÁLISIS DE DATOS:

Para el análisis de datos se utilizó el software *Comprehensive Meta-Analysis* (versión 3.3.070) (235). Para llevar a cabo la síntesis cuantitativa se siguieron las recomendaciones metodológicas de Cooper y cols. 2009 (227). Teniendo en cuenta la posible heterogeneidad de cada estudio en sí mismo (variabilidad de pacientes, de diagnóstico, etc) y de los estudios entre sí (distintos procedimientos para analizar la percepción de la VV o distintas formas de expresar el resultado final de la percepción de la VV), cada meta-análisis se llevó a cabo siguiendo un modelo de efectos aleatorios de Dersimonian and Laird (236). El objeto de este modelo era superar la heterogeneidad presente para poder realizar la mayor generalización posible de los resultados. El tamaño del efecto para analizar las diferencias entre casos y controles, se obtuvo mediante el cálculo de la diferencia de medias estandarizada (DME) de Cohen (237) y su intervalo de confianza al 95% (IC 95%), donde dicha magnitud puede ser interpretada como nula (DME = 0), baja (DME = 0.2), moderada (DME = 0.5) y alta (> 0.8) (238). Los resultados de cada meta-análisis fueron visualizados e interpretados con el gráfico del bosque o forest plot (239). El sesgo de publicación se analizó con la visualización de los gráficos de embudo o funnel plot de efectos aleatorios (si la figura presenta asimetría estamos ante un posible sesgo de publicación) (240) y el test de Egger (donde $p < 0.1$ indica posible sesgo de publicación) (241). Además, uno de los puntos fuertes de los estudios incluidos en la presente Tesis Doctoral fue el análisis del tamaño del efecto ajustado considerando un posible sesgo de publicación. Para ello se utilizó el método Trim-and-Fill de Duval y Tweedie (242). En relación a la heterogeneidad, ésta se analizó con el grado de inconsistencia de Higgins y cols. (243), el estadístico Cochran's Q test (244) y el p -valor (donde $p < 0.1$ indica la presencia de heterogeneidad) (245). La heterogeneidad se puede clasificar en tres niveles según el grado de inconsistencia (I^2): baja si $< 25\%$; moderada entre 25 y 50% y alta si $> 50\%$ (243).

Finalmente, se realizaron análisis estadísticos adicionales tales como el análisis de sensibilidad con la técnica "one study removed" o "leave-one-out- method" (227) para evaluar la contribución de cada estudio al tamaño del efecto global. Cuando se detectó la presencia de heterogeneidad también se practicó una meta-regresión con variables moderadoras, en función de cada estudio, para estimar un modelo conjunto o aislado que explicara la presencia de tal heterogeneidad (226,227). Por ejemplo, en el caso de la

revisión de la percepción de la VV en patología vestibular periférica, se practicó una meta-regresión tomando como variables moderadoras categóricas la fase evolutiva en la que estaban los pacientes y la presencia de cirugía vestibular, y como variables moderadoras cuantitativas la calidad metodológica.

9. RESULTADOS

Los resultados de la presente Tesis Doctoral se exponen en los artículos tal cual han sido publicados.

ESTUDIO 1:

Molina F, Lomas-Vega R, Obrero-Gaitán E, Rus A, Almagro DR, Del-Pino-Casado R. Misperception of the subjective visual vertical in neurological patients with or without stroke: A meta-analysis. NeuroRehabilitation. 2019;44(3):379-388. doi: 10.3233/NRE-182642. PMID: 31227659.

Abstract

Background: The interpretation of the verticality of the environment is crucial for a proper body balance. The subjective visual vertical test (SVV) is a widely used method to determine the visual perception of the verticality, whose alteration has been related with poor functional status.

Objective: To analyze the visual perception of the verticality in neurological patients in comparison with healthy controls.

Methods: We searched PubMed, Scopus, and Scielo from the start of the databases until October 2017 and manually searched the reference lists of studies comparing SVV values between neurological patients and controls. Standardized mean difference (SMD) and subgroup analysis were used to analyze differences between neurological patients and healthy subjects and between stroke and non-stroke patients, respectively.

Results: A total of 1,916 subjects from 31 studies were included. Neurological patients misestimate the true vertical in comparison with controls (SMD = 1.05; 95% CI: 0.81, 1.28). The misperception of the verticality was higher in stroke patients (SMD = 1.35; 95% CI: 1.02, 1.68) than in patients with other neurological conditions (SMD = 0.48; 95% CI: 0.29, 0.68).

Conclusions: Neurological patients showed a misperception of the verticality, estimated using the SVV. The neurological pathology that most alters the SVV is stroke.

Keywords: Stroke; balance; gravity perception; neurological disorders; subjective visual vertical.

<https://doi.org/10.3233/nre-182642>

ESTUDIO 2:

Obrero-Gaitán E, Molina F, Del-Pino-Casado R, Ibáñez-Vera AJ, Rodríguez-Almagro D, Lomas-Vega R. Visual Verticality Perception in Spinal Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis. J Clin Med. 2020 Jun 3;9(6):1725. doi: 10.3390/jcm9061725. PMID: 32503240; PMCID: PMC7356295.

Abstract

Patients diagnosed with traumatic or non-traumatic spinal pain and idiopathic scoliosis frequently suffer from imbalance. The evaluation of the perception of verticality by means of visual tests emerges as a quick and easy tool for clinical management of the balance disorders. Several studies have assessed the visual perception of verticality in spinal diseases obtaining controversial results. The aim of our study is to analyze the perception of visual verticality in subjects with several spinal diseases in comparison with healthy subjects. A meta-analysis was carried out. PubMed MEDLINE, Scopus, WoS, CINAHL, and SciELO databases were searched until January 2020. The standardized mean difference (SMD) was calculated to analyze differences between patients and healthy controls. Fifteen studies with a total of 2052 patients were included. In comparison with healthy subjects, a misperception of verticality was found in patients with spinal pain when the perception of the verticality was assessed with the rod and frame test (SMD = 0.339; 95% confidence interval (CI) = 0.181, 0.497; $p < 0.001$). It seems that the perception of visual verticality is not altered in patients with idiopathic scoliosis ($p = 0.294$). The present meta-analysis shows a misperception of visual verticality only in patients with spinal pain.

Keywords: idiopathic scoliosis; rod and frame test; sense of verticality; sensory integration; spinal diseases; subjective visual vertical.

<https://doi.org/10.3390/jcm9061725>

ESTUDIO 3:

Obrero-Gaitán E, Molina F, Montilla-Ibañez MD, Del-Pino-Casado R, Rodriguez-Almagro D, Lomas-Vega R. Misperception of Visual Vertical in Peripheral Vestibular Disorders. A Systematic Review With Meta-Analysis. Laryngoscope. 2021 May;131(5):1110-1121. doi: 10.1002/lary.29124. Epub 2020 Sep 23. PMID: 32965689.

Abstract

Objective: The main aim was to assess the misperception of visual verticality (VV) in patients with peripheral vestibular disorders (PVD) in comparison with healthy controls. As secondary objectives, we checked if vestibular, visual, and somatosensory postural pathways can be affected in patients with PVD as well as the characteristics of PVD that could influence on the VV perception.

Methods: A systematic review with meta-analysis was carried out. The bibliographic search was performed in January, 2020 in PubMed, Scopus, Web of Science (WOS), CINAHL, SciELO. Two reviewers selected the studies that met the inclusion criteria, extracted data, and assessed the methodological quality using the Newcastle-Ottawa Scale (NOS). The VV perception was assessed in two meta-analysis according the used test: The Subjective Visual Vertical test (SVV) or the Rod and Frame Test (RFT) in comparison with healthy subjects. The Standardized Mean Difference (SMD) and its 95% Confidence Interval (95% CI) was used to estimate the pooled effect. Publication bias was assessed using the Egger's test and Trim and Fill Method.

Results: Thirty-four studies were included reporting 3,524 participants. PVD patients showed a misperception of the VV with SVV (SMD = 1.510; 95%CI: 1.190-1.830) and the RFT (SMD = 0.816; 95% CI: 0.234-1.398) respect healthy controls. A subgroup of patients in the acute phase (SMD = 2.5; 95%CI: 2.022-2.978) and who underwent a vestibular surgery (SMD = 2.241; 95%CI: 1.471-3.011) had the greater misperception of VV.

Conclusion: Patients with PVD show an alteration in the perception of VV, being greater in the acute phase and after a vestibular surgery. Laryngoscope, 131:1110-1121, 2021.

Keywords: Peripheral vestibular disorders; multisensory integration; rod and frame test; sense of verticality; subjective visual vertical; systematic review.

<https://doi.org/10.1002/lary.29124>

ESTUDIO 4:

Obrero-Gaitán E, Manrique-Navarro M, Léri-da-Ortega MÁ, Rodríguez-Almagro D, Osuna-Pérez MC, Lomas-Vega R. Misperception of Visual Verticality in Patients with Primary Headache Disorders: A Systematic Review with Meta-Analysis. Brain Sci. 2020 Sep 24;10(10):664. doi: 10.3390/brainsci10100664. PMID: 32987639; PMCID: PMC7598580.

Abstract

Migraine and tension-type headache (TTH) are the two most prevalent primary headache disorders (PHDs) that may involve visual and vestibular impairments, neck pain, and postural unsteadiness. The perception of visual verticality (VV) has been studied in patients diagnosed with PHD to assess balance disorders showing varying findings. Our study aimed to assess the VV perception in patients diagnosed with PHD in comparison to healthy controls. A systematic review with meta-analysis was carried out in PubMed MEDLINE, Scopus, WOS, CINAHL, and SciELO. The Cohen standardized mean difference (SMD) was used to estimate the differences between exposed and healthy controls. Seven studies with 816 participants were included. The quality of included studies, according to the Newcastle-Ottawa Scale (NOS), was moderate (mean score of 5.2). Patients diagnosed with PHD showed a moderate misperception of VV as assessed with the subjective visual vertical (SVV) test (SMD = 0.530; 95% CI = 0.225, 0.836; $p < 0.001$). Specifically, a misperception of the SVV was found in patients with migraine (SMD = 0.369; 95% CI = 0.1, 0.638; $p = 0.007$) and with TTH (SMD = 1.122; 95% CI = 0.540, 1.704; $p < 0.001$). This review shows a misperception of VV in patients with migraine and TTH when assessed with the SVV test, being higher in patients with TTH, although the THH sample size was low.

<https://doi.org/10.3390/brainsci10100664>

10. DISCUSIÓN

La presente Tesis Doctoral incluye los primeros trabajos de revisión sistemática con meta-análisis que integran la evidencia científica disponible para analizar y cuantificar la percepción de la VV en sujetos con diferentes alteraciones en los sistemas de captación, integración y procesamiento del CP en comparación a controles sanos. Los trabajos incluidos en esta Tesis Doctoral analizaron las diferencias existentes entre sujetos con ANC (246), alteraciones musculo-esqueléticas del raquis que cursan con dolor y/o deformidad estructural (247), AVP (248) y TPDC (249) en comparación a controles sanos. La investigación no solo se centró en analizar la alteración en la percepción de la VV, a través del test de la VVS, sino que abordó otros asuntos tales como la posible dependencia visual que sufren estos sujetos, utilizando el TVM, así como otras características relacionadas con la patología analizada en cada revisión.

La elección de la metodología empleada en cada revisión viene determinada por el hecho de que las revisiones sistemáticas con meta-análisis han alcanzado en la actualidad el estatus de herramienta fundamental que aporta el mayor nivel en la práctica y el diagnóstico clínico basados en la evidencia científica (250). Así, el meta-análisis es una técnica basada en el análisis estadístico que permite sintetizar la evidencia procedente de estudios disponibles (estudios observacionales o experimentales) sobre un tema de interés superando algunas limitaciones de las revisiones sistemáticas tales como la limitación en la generalización de los resultados, la subjetividad, el análisis del posible sesgo de publicación y de la heterogeneidad presente en los estudios incluidos (251). La principal ventaja del meta-análisis es que permite combinar estudios diversos para obtener una medida del efecto común, es decir, integra los resultados de diferentes estudios que comparten un diseño similar (252) con el objetivo de mejorar la potencia estadística, detectar diferencias entre tratamientos o casos y controles y establecer una estimación más precisa del tamaño del efecto (253).

En cada uno de los artículos de revisión que componen dicha Tesis Doctoral se discute con detalle los resultados de la estimación de la VV en cada grupo poblacional. Sin embargo, es necesario poner en común los principales hallazgos encontrados en cada uno de los trabajos y sus posibles implicaciones para la práctica clínica.

Las pruebas que utilizan los estudios incluidos en dicha investigación para analizar la VV son el test clásico de la VVS y el TVM siendo el test clásico de la VVS el más utilizado. Como se ha descrito con anterioridad, el test clásico de la VVS analiza la contribución vestibular para la construcción del modelo interno de verticalidad (143), mientras que con el TVM también se analiza la contribución visual y propioceptiva para estimar la VV (185). Éste último test, por tanto, aporta información en cuanto a la posible dependencia visual que puede aparecer en sujetos con alteración del sistema vestibular (212). El fenómeno de dependencia visual puede ser explicado por el proceso de reponderación sensorial mediante el cual en SNC utiliza la información postural de aquellos sistemas sensoriales que quedan intactos (109). Los sistemas vestibular y visual son los que aportan más información sobre la percepción de la VV (118) de tal manera que una lesión en cualquiera de estos dos sistemas hará al individuo más dependiente de los inputs que se reciban desde el otro sistema que queda indemne.

En relación al estudio de la VV en sujetos con ANC, la revisión estaba compuesta por 31 estudios con 54 muestras independientes, de las cuales el 75% estaba integrada por sujetos con alteraciones vasculares del SNC y el 68% de los sujetos con alteraciones vasculares eran pacientes con ACV. Los estudios incluidos en la presente revisión analizaron la VV con el test clásico de la VVS y con el TVM. Los hallazgos de esta revisión mostraron una alteración de la VV, evaluada con el test de la VVS, en sujetos con ANC, siendo mayor en sujetos con ACV que en sujetos diagnosticados de otras ANC (254). El análisis mostró una alta heterogeneidad que, tras realizar la meta-regresión, pudo ser explicada a partir de la variable “presencia de ACV”, mientras que ni el tipo de prueba para analizar la VV (test de VVS o TVM) ni la posición que el paciente durante la realización de la prueba (sedestación o bipedestación) explicaron ningún porcentaje de la heterogeneidad encontrada.

El análisis de subgrupos encontró que los individuos diagnosticados de ACV mostraban una mayor alteración en la percepción de la VV que los del resto de ANC, cuando se comparaban sus valores con los de los controles sanos (246). Estas diferencias podrían explicarse por el hecho de que los sujetos diagnosticados de ACV, generalmente sufren un daño en la corteza cerebral provocado por una interrupción súbita y brusca del flujo sanguíneo de naturaleza isquémica o hemorrágica, que puede afectar a amplias regiones cerebrales relacionadas con la integración sensorial y la respuesta motora

necesaria para mantener el CP. Más concretamente, la mayoría de los ACV afectan a la arteria cerebral media (255), cuya lesión puede provocar un daño en la corteza vestibular parieto-insular, visual o somato-sensorial primaria pudiendo así explicar la alteración de la VV que aparece en los sujetos con ANC, especialmente en sujetos con ACV (256). Por lo tanto, se podría establecer que la alteración de la VV en individuos con ANC se puede deber, en mayor medida, a una alteración en la integración de las señales vestibulares, visuales o somato-sensoriales a nivel central (150).

Por otro lado, cabe destacar que la alteración de la VV observada en sujetos con ANC puede incrementar el riesgo de caídas (118), especialmente en sujetos con ACV (257) en comparación a otras ANC como la esclerosis múltiple (258) o el Parkinson (259), acentuando las secuelas producidas por la lesión neurológica. En este sentido, futuros estudios deberían analizar si una posible alteración en la estimación de la VV en sujetos con ANC puede ser un predictor del riesgo de caídas. Por todo lo descrito anteriormente, resulta fundamental realizar un análisis global de todos los sistemas sensoriales encargados de construir el sentido de la verticalidad pudiendo así constatar procesos de dependencia visual o disfunción vestibular con el objeto de establecer protocolos de rehabilitación vestibular a nivel central con el objetivo de estimular los procesos de plasticidad neural tras el ACV (260).

Otro factor que puede explicar la mayor alteración en la VV en sujetos con ACV en comparación con otras ANC, puede ser la fase de la enfermedad en la que se encuentran. Mediante un análisis cualitativo se constató que, en la mayoría de los estudios incluidos, los pacientes con ACV se encontraban en una fase aguda o subaguda. En esas fases iniciales de la patología puede ser que aún no se hayan producido los fenómenos adaptativos o compensatorios, como la reponderación sensorial o la plasticidad neural, encargados de mitigar la disfunción en la estimación correcta de la VV (246).

En otra revisión, nosotros hemos analizado y cuantificado un hecho ya conocido, la presencia de una estimación errónea de la VV en sujetos con AVP (248). Se encontró un mayor error en la percepción de la VV en sujetos en fase aguda de la AVP en comparación a controles sanos. Los estudios en los que se analizó esta condición utilizaron el test clásico de la VVS para evaluar la percepción de la VV, por lo tanto, se constata que, a diferencia de los sujetos con ANC, la alteración en la percepción de la VV

evaluada con el test clásico de la VVS en sujetos con AVP puede ser causada también por un daño en los receptores sensoriales vestibulares encargados de captar la información postural. Además, nuestro trabajo confirmaría que el test clásico de la VVS realmente puede ser utilizado para evaluar el rol de los inputs vestibulares en la percepción de la VV y en la creación del modelo interno de verticalidad. Relacionado con el curso evolutivo de la enfermedad, la alteración en la VV va disminuyendo con el paso del tiempo en este tipo de pacientes, de tal manera que el error en la percepción de la VV parece ser menor en los sujetos con AVP en fase subaguda, y a su vez, en los que están en fase crónica (248). Una explicación a este fenómeno sería la compensación vestibular que ocurre después de la lesión vestibular, donde los fenómenos de restauración, adaptación y habituación vestibular pueden disminuir la alteración en la percepción errónea de la VV (261).

Nuestros resultados también mostraron una mayor alteración en la percepción de la VV en sujetos en los que se había practicado una cirugía del aparato vestibular o una ablación del nervio estato-acústico (248). A corto plazo, la neurectomía vestibular ocasiona una incapacidad importante para la estimación correcta de la VV. La explicación a esta alteración puede ser debida a la interrupción completa y súbita de la información sensorial que el vestíbulo envía a los núcleos vestibulares, de tal manera que la información que llega al SNC es deficiente y no puede ser integrada correctamente en la corteza cerebral. En estos casos, donde el sujeto va a convivir con una disfunción vestibular iatrogénica relacionada con la transmisión del impulso nervioso (248) o con la integración y procesamiento central (246), puede resultar esencial la evaluación de los sistemas sensoriales que quedan indemnes para la estimación correcta de la VV y así evaluar si el SNC está siendo capaz de poner en marcha los distintos mecanismos de compensación que le permitirán corregir o minimizar el impacto de la pérdida de la información vestibular para el desarrollo de un correcto CP.

La mayor parte de los estudios incluidos en la revisión de la percepción de la VV en AVP utilizaron el test clásico de la VVS, siendo menor el número de estudios que utilizaron el TVM, de tal manera que por un lado se pudo analizar la contribución vestibular al sentido de la verticalidad y por otro la dependencia visual (248). El error cometido durante la evaluación con el test clásico de la VVS indicaría la presencia de una función vestibular alterada. Además, nuestros resultados indicarían que en sujetos con

AVP existe un proceso de dependencia visual, ya que cuando se evalúa la percepción de la VV con el TVM, estos pacientes cometen un error mayor de la estimación en comparación con los controles sanos.

En estos casos, ante una AVP, el SNC debe focalizar la atención sobre el sistema visual tanto para mantener el equilibrio como para estimar correctamente la VV (262). Diversos estudios han mostrado que sujetos con AVP y una alteración en la VV, son visualmente dependientes, tras ser analizados con el TVM (132,212). Además, se ha constatado un incremento del riesgo de caídas en personas con dependencia visual (118), lo que sugeriría la importancia de identificar la presencia de este problema en este tipo de sujetos. Si bien es cierto que ninguna de las dos pruebas analizadas en esta Tesis Doctoral ha sido diseñada para evaluar el riesgo de caídas, la relación existente entre la alteración de la VV y el riesgo de caídas en sujetos con AVP (137) y ANC (263) aconsejan la realización de estudios que relacionen el error en la percepción de la VV y el incremento en el riesgo de caídas.

Otra aportación de esta Tesis Doctoral es el análisis de la percepción de la VV en sujetos con alteraciones músculo-esqueléticas del raquis (247). Los estudios incluidos en dicha revisión estaban integrados por muestras de sujetos con dolor cervical y lumbar (185,264) y con adolescentes diagnosticados de escoliosis idiopática (265). Bajo la primera condición encontramos una gran variedad de estudios en los que se analizó la percepción de la VV con la prueba clásica de la VVS y el TVM. Por otra parte, en otros estudios se analizó la percepción de la VV en sujetos con escoliosis solo con la prueba clásica de la VVS. Los resultados obtenidos mostraron una alteración de la percepción de la VV en sujetos con alteraciones músculo-esqueléticas del raquis con dolor como síntoma principal cuando fueron evaluados con el TVM. Por otro lado, no se hallaron diferencias con respecto a los controles sanos cuando se utilizó la prueba clásica de la VVS en sujetos con dolor cervical. Los resultados sugieren que el dolor en la musculatura del raquis puede distorsionar las aferencias propioceptivas necesarias para la construcción del sentido de la verticalidad, las cuales están íntimamente relacionadas con la función visual a través del RCC. Por lo tanto, la alteración en el intercambio fluido de información propioceptiva y visual podría ser la responsable de los errores en la estimación de la VV ya que puede provocar alteración en la función óculo-motora y la coordinación óculo-cefálica en sujetos con dolor cervical (266).

En relación a la escoliosis idiopática, no se pudo analizar la contribución somato-sensorial y visual al sentido de la verticalidad, ya que ningún estudio utilizó el TVM para analizar la percepción de la VV. Por lo tanto, resultaría esencial analizar la contribución del sistema visual y la propiocepción espinal en el desarrollo de la escoliosis. Para ello, se deberían realizar estudios donde se comparase el resultado de la prueba TVM en sujetos con escoliosis idiopática frente a controles sanos. Al igual que ocurrió en los sujetos con dolor espinal, no se halló una alteración en la percepción de la VV medida con el test clásico de la VVS en sujetos con escoliosis idiopática lo que sugeriría una función vestibular normal. Otros estudios han analizado la verticalidad utilizando la VPS y la VVS, estableciendo una alteración de la misma cuando se utilizó el test de la VPS y no el método clásico de la VVS (267). Sobre la base de la literatura previa y de nuestros resultados sería interesante cuantificar la percepción de la verticalidad utilizando el test de la VPS, así como el TVM para analizar la posible dependencia visual en pacientes con escoliosis idiopática.

En la última revisión incluida en esta Tesis Doctoral también se encontró una alteración de la percepción de la VV en sujetos con TPDC (249). En dicha revisión no se pudo determinar la presencia de dependencia visual en sujetos con TPDC ya que ningún estudio incluyó el TVM como herramienta de evaluación de la percepción de la VV. Los resultados de este meta-análisis sugieren que, en sujetos diagnosticados con TPDC, la fijación de cabeza para realizar la prueba o el test que se utilice de la versión clásica (test del cubo o prueba digital computerizada) no influye en la percepción final de la VV, ya que los sujetos en los que se fijaba la cabeza desarrollaron el mismo error en la percepción de la VV que en los que no, al igual que ocurrió en los que utilizaron el test del cubo o la prueba digital (249). Sin embargo, mediante un análisis cualitativo de la literatura científica parece ser que en sujetos con migraña, la fijación de la cabeza puede condicionar los resultados (158), ya que se encontró un mayor error en la prueba VVS en sujetos a los que se le fijó la cabeza a 0° (268) en comparación con aquellos a los que no se fijó (269). Este fenómeno podría explicarse por la participación o anulación de las aferencias propioceptivas cervicales, ya que cuando éstas son anuladas aparece una alteración de la VVS síntoma de una posible alteración de la función vestibular (158). La región cervical cuenta con una gran cantidad de propioceptores de ahí su implicación en la estimación de la VV (249). Esto podría hacer que, en determinadas situaciones, se produjera el fenómeno de reponderación sensorial haciendo que las aferencias cervicales

actuaran como un mecanismo compensatorio de una posible alteración vestibular en los sujetos con migraña (158). De estos resultados se deduce que los futuros estudios que analicen la función vestibular en pacientes con migraña deberían de hacerse con la cabeza del paciente fija, mientras que cuando se pretenda analizar la contribución propioceptiva cervical y visual se debería de usar el TVM y no fijar la cabeza.

Los hallazgos derivados de la presente Tesis Doctoral pueden ser de especial interés en el campo de la otoneurología ya que sintetiza el conocimiento disponible acerca de la percepción de la VV y la dependencia visual en patologías que alteran la captación, integración y procesamiento de la información postural necesaria para construir el sentido de la verticalidad. Sin embargo, nuestros resultados deben ser tomados con cautela ya que esta investigación cuenta con varias limitaciones. En primer lugar, el bajo número de estudios incluidos tanto en la revisión que se centró en las alteraciones músculo-esqueléticas del raquis como en la que se ocupó del análisis de los TPDC, puede afectar a la generalización de los resultados. El bajo número de estudios, el bajo número de sujetos en los mismos y el posible sesgo de publicación, en algunos casos, puede disminuir la precisión de los resultados. Otra limitación a tener en cuenta es la ausencia en la evaluación de la dependencia visual con el TVM en la mayoría de los estudios incluidos, entre los que destacan los relacionados con la escoliosis idiopática y con los TPDC. Es importante señalar otra limitación acerca de la robustez de los resultados que derivan de meta-análisis con pocos estudios incluidos, los cuales deben de ser tomados con cautela. Esta limitación sería de relevancia en los estudios que analizan la percepción de la VV, evaluada con el test clásico VVS, en sujetos con escoliosis idiopática, migraña y cefalea y, por otro lado, cuando se utilizó en TVM para analizar la dependencia visual en sujetos con AVP. Finalmente, es importante precisar que algunos estudios fueron excluidos de la síntesis cuantitativa de cada revisión, lo que podría contribuir al posible riesgo de sesgo de publicación.

Futuras investigaciones deberían de seguir indagando en el análisis de la dependencia visual en las patologías presentes en dichas revisiones y especialmente en aquellas en las que no se ha utilizado el TVM como herramienta de evaluación de la VV. De la misma manera, sería interesante seguir investigando las posibles aplicaciones del TVM y VVS clásica como herramientas que informen de un mayor riesgo de caídas. También sería interesante analizar otros aspectos relacionados como la fijación o no de

la cabeza en sujetos con TPDC, en la medida de resultado a utilizar o en la posición inicial en la que el paciente realiza la evaluación.

11. CONCLUSIONS

The conclusions of this Doctoral Thesis are extensive due to the number of studies carried out and published for this purpose. Considering the results of the investigations carried out, it can be concluded that there are differences in the perception of VV between healthy controls and subjects with damage in sensory systems related to the postural control. In addition, I present the conclusions according to each study that includes a specific pathological population:

STUDY 1:

- Subjects diagnosed with a Central Nervous System Disease (CNSD), such as stroke (stroke subgroup) and various neurological disorders, including multiple sclerosis or Parkinson disease (non-stroke subgroup), show a more altered perception of VV, evaluated with the classic SVV test, compared to healthy subjects.
- Stroke is the CNSD that, when analysed with the classic SVV test, shows greater alteration in the perception of VV compared to healthy subjects.
- The type of VV test and the initial position of the patients with CNSD do not influence the perception of VV.

STUDY 2:

- Subjects with neck pain present statistically significant differences in the alteration of VV, assessed with the RFT, compared to healthy controls.
- When the perception of VV was assessed using the SVV test, no statistically significant differences were found between subjects with neck pain and healthy controls and between subjects with idiopathic scoliosis and healthy controls.

STUDY 3:

- Subjects with peripheral vestibular disorders (PVD) showed a greater erroneous perception of VV, assessed with the SVV test, compared to healthy controls.
- Using the SVV test, a greater alteration of VV was found, compared to healthy subjects, in individuals with PVD in the acute phase of the disease (this alteration reduced progressively over time towards the chronic phase) and in subjects who had undergone vestibular surgery.
- When evaluated with the RFT, a greater misperception of VV was also found in subjects with PVD, allowing these individuals to be categorised as field-dependent compared to healthy controls.

STUDY 4:

- Compared to healthy controls, patients with primary headache disorders (PHD) showed an erroneous perception of VV when assessed with the SVV test.
- More specifically, a misperception of VV, assessed with the SVV test, was also found in patients with migraine and tension-type headaches. However, although a greater misperception of VV was found in subjects with tension-type headache compared to healthy controls, the results must be viewed with caution due to the low number of included studies and the absence of publication bias analysis.
- No differences were found when SVV was assessed with the head fixed or using different devices such as the bucket test or digital assessments in patients with PHD.

12. REFERENCIAS

1. Cuccia A, Caradonna C. The relationship between the stomatognathic system and body posture. *Clinics*. 2009 Jan;64(1).
2. Pastorelli F, Pasquetti P. Biomechanical analysis and rehabilitation in athletes. *Clin Cases Miner Bone Metab*. 2013 May;10(2):96.
3. Carini F, Mazzola M, Fici C, Palmeri S, Messina M, Damiani P, et al. Posture and posturology, anatomical and physiological profiles: overview and current state of art. *Acta Biomed*. 2017;88(1):11–6.
4. Massion J. Postural control system. *Curr Opin Neurobiol*. 1994 Dec;4(6):877–87.
5. Ruiz M, Nadador V, Fernández-Aleantud J, Hernández-Salván J, Riquelme I, Benito G. Dolor de origen muscular: dolor miofascial y fibromialgia. *Rev la Soc Española del dolor*. 2007;14(1):36–44.
6. Scoppa F. Posturology: from nonlinear dynamics to transdisciplinarity. *Otoneurologia*. 2000;15:28–48.
7. Woollacott MH, Shumway-Cook A. Concepts and Methods for Assessing Postural Instability. *J Aging Phys Act*. 1996 Jul;4(3):214–33.
8. Ha S-Y, Sung Y-H. A temporary forward head posture decreases function of cervical proprioception. *J Exerc Rehabil*. 2020 Apr 28;16(2):168–74.
9. Massion J. Movement, posture and equilibrium: Interaction and coordination. *Prog Neurobiol*. 1992 Jan;38(1):35–56.
10. Duclos N, Duclos C, Mesure S. Control postural: fisiología, conceptos principales e implicaciones para la readaptación. *EMC - Kinesiterapia - Med Física*. 2017 Apr;38(2):1–9.
11. Petit M, Thompson W, Lacroix P-M, Barrey C, Faundez A, Le Huec J-C. Equilibrio sagital de la columna vertebral: descripción y aplicaciones. *EMC-Aparato Locomot*. 2018;51(4):1–14.
12. Bell F. Principles of mechanics and biomechanics. Nelson Thornes; 1998.
13. Winter D. Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture*. 1995 Dec;3(4):193–214.
14. Pollock AS, Durward BR, Rowe PJ, Paul JP. What is balance? *Clin Rehabil*. 2000 Aug;14(4):402–6.
15. Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing*. 2006 Sep;35 Suppl 2:ii7–11.
16. Martín Sanz E, Barona de Guzmán R, Comeche Cerverón C, Baydal JM. [Analysis of the interaction between visual and vestibular influence in postural control]. *Acta Otorrinolaringol Esp*. 2004 Jan;55(1):9–16.
17. Latash M, Levin M, Scholz J, Schöner G. Motor control theories and their applications. *Medicina (B Aires)*. 2010 Jun 12;46(6):382.
18. Mazibrada G, Tariq S, Perennou D, Gresty M, Greenwood R, Bronstein AM. The peripheral nervous system and the perception of verticality. *Gait Posture*. 2008 Feb;27(2):202–8.
19. Paillard J. Tonus, postures et mouvements. *Physiologie*. 1976;2:521–728.
20. Chiou S-Y, Gottardi SEA, Hodges PW, Strutton PH. Corticospinal Excitability of Trunk Muscles during Different Postural Tasks. Ivanenko YP, editor. *PLoS One*. 2016 Jan 25;11(1):e0147650.
21. Khan S, Chang R. Anatomy of the vestibular system: A review. Greenwald BD, Gurley JM, editors. *NeuroRehabilitation*. 2013 May 21;32(3):437–43.
22. Yoo H, Mihaila DM. Neuroanatomy, Vestibular Pathways [Internet]. *StatPearls*.

2020. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32491312>
23. Faisal AA, Selen LPJ, Wolpert DM. Noise in the nervous system. *Nat Rev Neurosci*. 2008 Apr;9(4):292–303.
 24. Lévêque M, Seidermann L, Ulmer E, Chays A. Fisiología vestibular: bases anatómicas, celulares, inmunohistoquímicas y electrofisiológicas. *EMC-Otorrinolaringología*. 2009;38(4):1–15.
 25. Hain TC, Helminski JO. Anatomy and physiology of the normal vestibular system. *Vestib Rehabil*. 2007;1(1):2.
 26. Arruñada F. Anatomía del aparato vestibular. *Rev FASO*. 2015;22:1–9.
 27. Morita H, Kaji H, Ueta Y, Abe C. Understanding vestibular-related physiological functions could provide clues on adapting to a new gravitational environment. *J Physiol Sci*. 2020 Dec 14;70(1):17.
 28. Barrett KE, Barman SM, Boitano S, Brooks HL. Chapter 10. Hearing & equilibrium. *Ganong's review of medical physiology*. 24th ed. New York: McGraw-Hill. 2012.
 29. Campbell WW, DeJong RN. *DeJong's the neurologic examination*. Lippincott Williams & Wilkins; 2005.
 30. Tascioglu A. Brief review of vestibular system anatomy and its higher order projections. *Neuroanatomy*. 2005;4:24–7.
 31. García-Valdecasas Bernal J, Aviñoa Arias A, Arjona Montilla C. I. OÍDO Capítulo 4 FISIOLOGÍA DEL SISTEMA VESTIBULAR.
 32. Sauvage J-P, Puyraud S, Roche O, Rahman A. Anatomía del oído interno. *EMC-Otorrinolaringología*. 2000;29(1):1–19.
 33. Socarrás Hernández B, Téllez Traba L, Alfonso Muñoz E, Regueiro Gómez Á, Valdespino Martín C. Exploración de los conductos semicirculares verticales con estimulación rotatoria inducida. *Rev Cuba Med Mil*. 2018;47(1):73–9.
 34. Mescher AL. Chapter 23. The eye and ear: special sense organs. In: Mescher A, editor. *Junqueira's basic histology: text & atlas*. 2010.
 35. Chabbert C. Anatomía y fisiología del vestíbulo. *EMC-Otorrinolaringología*. 2016;45(3):1–9.
 36. Castillo GD, de Jorge JLV. Anatomía y fisiología del sistema nervioso central. *Fundación Univ. San Pablo*; 2015.
 37. Landau M, Barner K. Vestibulocochlear Nerve. *Semin Neurol*. 2009 Feb 12;29(01):066–73.
 38. Swartz JD, Daniels DL, Harnsberger HR, Ulmer JL, Harvey S, Shaffer KA, et al. Balance and equilibrium, II: The retrovestibular neural pathway. *AJNR Am J Neuroradiol*. 17(6):1187–90.
 39. Spickler EM, Govila L. The vestibulocochlear nerve. *Semin Ultrasound, CT MRI*. 2002 Jun;23(3):218–37.
 40. Aedo Sánchez C, Collao JP, Délano Reyes P. Anatomía, fisiología y rol clínico de la corteza vestibular. *Rev Otorrinolaringol y cirugía cabeza y cuello*. 2016;76:337–46.
 41. Dougherty JM, Carney M, Emmady PD. Vestibular Dysfunction [Internet]. *StatPearls*. StatPearls Publishing; 2020 [cited 2020 Nov 24]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32644352>
 42. Lopez C, Blanke O. The thalamocortical vestibular system in animals and humans. *Brain Res Rev*. 2011 Jun;67(1–2):119–46.
 43. Indovina I, Riccelli R, Chiarella G, Petrolo C, Augimeri A, Giofrè L, et al. Role of the Insula and Vestibular System in Patients with Chronic Subjective Dizziness: An fMRI Study Using Sound-Evoked Vestibular Stimulation. *Front Behav*

- Neurosci. 2015 Dec 9;9.
44. Niehof N, Tramper JJ, Doeller CF, Medendorp WP. Updating of visual orientation in a gravity-based reference frame. *J Vis.* 2017 Oct 5;17(12):4.
 45. Lieber S, Fernandez-Miranda JC. Anatomy of the Orbit. *J Neurol Surg Part B Skull Base.* 2020 Aug 17;81(04):319–32.
 46. Hubel DH. Ojo, cerebro y visión. EDITUM; 2000.
 47. Nguyen J, Duong H. Anatomy, Head and Neck, Eye Nerves [Internet]. StatPearls. StatPearls Publishing; 2020 [cited 2020 Dec 28]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31751109>
 48. Kahle W, Leonhardt H, Platzer W. Atlas de Anatomía, Tomo III, Sistema Nervioso y Órganos de los Sentidos. Barcelona; 2003.
 49. Villar DF. Anatomía Ocular. *Oftalmología.* 2000;1–9.
 50. Behar-Cohen F, Gelizé E, Jonet L, Lassiá P. Anatomie de la rétine. *médecine/sciences.* 2020 Jun 2;36(6–7):594–9.
 51. Rehman I, Mahabadi N, Ali T. Anatomy, Head and Neck, Eye Fovea [Internet]. StatPearls. 2019 [cited 2020 Dec 28]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29493926>
 52. Tschulakow A V., Oltrup T, Bende T, Schmelzle S, Schraermeyer U. The anatomy of the foveola reinvestigated. *PeerJ.* 2018 Mar 12;6:e4482.
 53. Gupta N, Motlagh M, Singh G. Anatomy, Head and Neck, Eye Arteries [Internet]. StatPearls. StatPearls Publishing; 2020 [cited 2020 Dec 28]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30725748>
 54. Nguyen KH, Patel BC, Tadi P. Anatomy, Head and Neck, Eye Retina [Internet]. StatPearls. StatPearls Publishing; 2020 [cited 2020 Dec 28]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31194472>
 55. Bahena Trujillo R, Arias-Montano J-A. Fototransducción: Bioquímica de la visión. *Investig Hoy.* 1999 Jan 1;86:10–9.
 56. Cruz TEC, Moreno LFR, Fernández MAV, Francia ALF. La cara. Aspectos funcionales II–Neurofisiología. El sentido de la visión. *Morfología.* 2014;6(2).
 57. Ireland AC, Carter IB. Neuroanatomy, Optic Chiasm [Internet]. StatPearls. StatPearls Publishing; 2020 [cited 2020 Nov 24]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31194427>
 58. Calkins DJ. Age-related changes in the visual pathways: blame it on the axon. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2013 Dec;54(14):ORSF37-41.
 59. Purohit BJ, Singh PR. An Osteologic Study of Cranial Opening of Optic Canal in Gujarat Region. *J Clin Diagn Res.* 2016 Nov;10(11):AC08-AC11.
 60. Gupta M, Bordoni B. Neuroanatomy, Visual Pathway [Internet]. StatPearls. StatPearls Publishing; 2020 [cited 2020 Nov 24]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31985982>
 61. Zubricky RD, M Das J. Neuroanatomy, Superior Colliculus [Internet]. StatPearls. 2020 [cited 2020 Dec 28]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31334944>
 62. Hogan MBH, Subramanian S, Das JM. Neuroanatomy, Edinger–Westphal Nucleus (Accessory Oculomotor Nucleus). 2020 Sep 19;
 63. Wang B, Yan T, Zhou J, Xie Y, Qiu J, Wang Y, et al. Altered fMRI-derived functional connectivity in patients with high-tension glaucoma. *J Neuroradiol.* 2020 Mar;
 64. Shumway CL, Motlagh M, Wade M. Anatomy, Head and Neck, Eye Extraocular Muscles [Internet]. StatPearls. StatPearls Publishing; 2020 [cited 2020 Dec 28]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30137849>

65. Kim SY, Naqvi IA. Neuroanatomy, Cranial Nerve 4 (Trochlear) [Internet]. StatPearls. StatPearls Publishing; 2019 [cited 2020 Dec 28]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30725929>
66. Joyce C, Peterson DC. Neuroanatomy, Cranial Nerve 3 (Oculomotor) [Internet]. StatPearls. StatPearls Publishing; 2019 [cited 2020 Dec 28]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30725811>
67. Delhaye BP, Long KH, Bensmaia SJ. Neural Basis of Touch and Proprioception in Primate Cortex. *Compr Physiol*. 2018 Sep;8(4):1575–602.
68. Kröger S. Proprioception 2.0: novel functions for muscle spindles. *Curr Opin Neurol*. 2018 Oct;31(5):592–8.
69. Kiehn O. Decoding the organization of spinal circuits that control locomotion. *Nat Rev Neurosci*. 2016 Apr;17(4):224–38.
70. Bosco G, Eian J, Poppele RE. Phase-specific sensory representations in spinocerebellar activity during stepping: evidence for a hybrid kinematic/kinetic framework. *Exp brain Res*. 2006 Oct;175(1):83–96.
71. Zehr EP, Stein RB, Komiyama T. Function of sural nerve reflexes during human walking. *J Physiol*. 1998 Feb;507 (Pt 1(Pt 1):305–14.
72. Tosovic D, Ghebremedhin E, Glen C, Gorelick M, Mark Brown J. The architecture and contraction time of intrinsic foot muscles. *J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol*. 2012 Dec;22(6):930–8.
73. Roll JP, Roll R. From eye to foot: a proprioceptive chain involved in postural control. In: *Posture and gait* Elsevier, Amsterdam. 1988. p. 155–64.
74. Pozzo T, Berthoz A, Lefort L. Head stabilization during various locomotor tasks in humans. I. Normal subjects. *Exp brain Res*. 1990;82(1):97–106.
75. Cordo PJ. Kinesthetic coordination of a movement sequence in humans. *Neurosci Lett*. 1988 Sep;92(1):40–5.
76. Park S, Toole T, Lee S. Functional roles of the proprioceptive system in the control of goal-directed movement. *Percept Mot Skills*. 1999 Apr;88(2):631–47.
77. Guang H, Ji L. Proprioceptive Recognition with Artificial Neural Networks Based on Organizations of Spinocerebellar Tract and Cerebellum. *Int J Neural Syst*. 2019 Sep;29(7):1850056.
78. Moreno F. Descripción histológica del huso neuromuscular. *Salut Sci Spiritus*. 2015;1(1).
79. Edin BB, Vallbo AB. Dynamic response of human muscle spindle afferents to stretch. *J Neurophysiol*. 1990 Jun;63(6):1297–306.
80. Sánchez Klinge ME, Mutis Barreto CA. Fisiología del sistema neuromuscular. Universidad de la Salle; 2020.
81. Mileusnic MP, Loeb GE. Mathematical models of proprioceptors. II. Structure and function of the Golgi tendon organ. *J Neurophysiol*. 2006 Oct;96(4):1789–802.
82. Golgi C, Hulliger M. Sui nervi dei tendini dell'uomo e di altri vertebrati e di un nuovo organo nervoso terminale musculo-tendineo. *Mem R Acad Sci Torino*. 1880;32:359–85.
83. Edin BB, Vallbo AB. Muscle afferent responses to isometric contractions and relaxations in humans. *J Neurophysiol*. 1990 Jun;63(6):1307–13.
84. Grigg P, Greenspan BJ. Response of primate joint afferent neurons to mechanical stimulation of knee joint. *J Neurophysiol*. 1977 Jan;40(1):1–8.
85. Zimny ML. Mechanoreceptors in articular tissues. *Am J Anat*. 1988 May;182(1):16–32.
86. Burke D, Gandevia SC, Macefield G. Responses to passive movement of receptors in joint, skin and muscle of the human hand. *J Physiol*. 1988 Aug;402:347–61.

87. MacKinnon CD. Sensorimotor anatomy of gait, balance, and falls. *Handb Clin Neurol*. 2018;159:3–26.
88. Al-Chalabi M, Alsalman I. Neuroanatomy, Posterior Column (Dorsal Column) [Internet]. StatPearls. StatPearls Publishing; 2018 [cited 2020 Dec 28]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29939665>
89. Navarro-Orozco D, Bollu PC. Neuroanatomy, Medial Lemniscus (Reils Band, Reils Ribbon) [Internet]. StatPearls. StatPearls Publishing; 2019 [cited 2020 Dec 28]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK526040/>
90. Kumar N, Manning TF, Ostry DJ. Somatosensory cortex participates in the consolidation of human motor memory. Ganguly K, editor. *PLOS Biol*. 2019 Oct 15;17(10):e3000469.
91. Kaas J, Nelson R, Sur M, Lin C, Merzenich M. Multiple representations of the body within the primary somatosensory cortex of primates. *Science (80-)*. 1979 May 4;204(4392):521–3.
92. Geyer S, Schleicher A, Zilles K. Areas 3a, 3b, and 1 of Human Primary Somatosensory Cortex. *Neuroimage*. 1999 Jul;10(1):63–83.
93. Burton H, Fabri M. Ipsilateral intracortical connections of physiologically defined cutaneous representations in areas 3b and 1 of macaque monkeys: Projections in the vicinity of the central sulcus. *J Comp Neurol*. 1995 May 15;355(4):508–38.
94. Horak F, Kuo A. Postural Adaptation for Altered Environments, Tasks, and Intentions. In: *Biomechanics and Neural Control of Posture and Movement*. Springer New York; 2000. p. 267–81.
95. Bronstein AM. Multisensory integration in balance control. *Handb Clin Neurol*. 2016;137:57–66.
96. Toledo DR, Barela JA. Sensory and motor differences between young and older adults: somatosensory contribution to postural control. *Rev Bras Fisioter*. 2010;14(3):267–75.
97. Anastasopoulos D, Bronstein AM. A case of thalamic syndrome: somatosensory influences on visual orientation. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1999 Sep 1;67(3):390–4.
98. Peterka RJ. Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol*. 2002 Sep;88(3):1097–118.
99. Maki BE, McIlroy WE. The Role of Limb Movements in Maintaining Upright Stance: The “Change-in-Support” Strategy. *Phys Ther*. 1997 May 1;77(5):488–507.
100. Smith JA, Ignasiak NK, Jacobs J V. Task-invariance and reliability of anticipatory postural adjustments in healthy young adults. *Gait Posture*. 2020 Feb;76:396–402.
101. Chen B, Lee Y-J, Aruin AS. Standing on a sliding board affects generation of anticipatory and compensatory postural adjustments. *J Electromyogr Kinesiol*. 2018 Feb;38:168–74.
102. Błażkiewicz M, Wit A. Compensatory strategy for ankle dorsiflexion muscle weakness during gait in patients with drop-foot. *Gait Posture*. 2019 Feb;68:88–94.
103. Mok NW, Brauer SG, Hodges PW. Hip Strategy for Balance Control in Quiet Standing Is Reduced in People With Low Back Pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004 Mar;29(6):E107–12.
104. Duncan PW, Studenski S, Chandler J, Bloomfeld R, LaPointe LK. Electromyographic Analysis of Postural Adjustments in Two Methods of Balance Testing. *Phys Ther*. 1990 Feb 1;70(2):88–96.
105. McIlroy WE, Maki BE. Age-related Changes in Compensatory Stepping in Response to Unpredictable Perturbations. *Journals Gerontol Ser A Biol Sci Med*

- Sci. 1996 Nov 1;51A(6):M289–96.
106. Alberts BBGT, Selen LPJ, Medendorp WP. Age-related reweighting of visual and vestibular cues for vertical perception. *J Neurophysiol.* 2019 Apr 1;121(4):1279–88.
 107. Saeys W, Herssens N, Verwulgen S, Truijten S. Sensory information and the perception of verticality in post-stroke patients. Another point of view in sensory reweighting strategies. *PLoS One.* 2018;13(6):e0199098.
 108. Angelaki DE, Klier EM, Snyder LH. A vestibular sensation: probabilistic approaches to spatial perception. *Neuron.* 2009 Nov;64(4):448–61.
 109. Peterka RJ. Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol.* 2002 Sep;88(3):1097–118.
 110. Fetter M. Vestibulo-Ocular Reflex. In: *Neuro-Ophthalmology.* Basel: KARGER; 2007. p. 35–51.
 111. Lorente-de N6 R. Vestibulo-ocular reflex arc. *Arch Neurol Psychiatry.* 1933 Aug 1;30(2):245.
 112. Bruschini L, Manzoni D. Methodological aspects of elicitation and analysis of vestibulo-spinal reflexes. *Arch Ital Biol.* 2013;151(2):54–66.
 113. Wilson VJ, Schor RH. The neural substrate of the vestibulocollic reflex. What needs to be learned. *Exp brain Res.* 1999 Dec;129(4):483–93.
 114. Barra J, Marquer A, Joassin R, Reymond C, Metge L, Chauvineau V, et al. Humans use internal models to construct and update a sense of verticality. *Brain.* 2010 Dec;133(Pt 12):3552–63.
 115. José Luvizutto G, Souza Silva Brito T, de Moura Neto E, Aparecida Pascucci Sande de Souza L. Altered Visual and Proprioceptive Spatial Perception in Individuals with Parkinson’s Disease. *Percept Mot Skills.* 2020 Feb 8;127(1):98–112.
 116. Glasauer S, Dieterich M, Brandt T. Neuronal network-based mathematical modeling of perceived verticality in acute unilateral vestibular lesions: from nerve to thalamus and cortex. *J Neurol.* 2018 Oct;265(Suppl 1):101–12.
 117. Bronstein AM. The interaction of otolith and proprioceptive information in the perception of verticality. The effects of labyrinthine and CNS disease. *Ann N Y Acad Sci.* 1999 May;871:324–33.
 118. Dieterich M, Brandt T. Perception of Verticality and Vestibular Disorders of Balance and Falls. *Front Neurol.* 2019;10:172.
 119. Mittelstaedt H. The role of the otoliths in perception of the vertical and in path integration. *Ann N Y Acad Sci.* 1999 May;871:334–44.
 120. Barra J, Perennou D. [Is the sense of verticality vestibular?]. *Neurophysiol Clin.* 2013 Jun;43(3):197–204.
 121. Mergner T, Huber W, Becker W. Vestibular-neck interaction and transformation of sensory coordinates. *J Vestib Res.* 7(4):347–67.
 122. Saeys W, Vereeck L, Truijten S, Lafosse C, Wuyts FP, Van de Heyning P. Influence of sensory loss on the perception of verticality in stroke patients. *Disabil Rehabil.* 2012 Nov 16;34(23):1965–70.
 123. Conceicao LB, Baggio JAO, Mazin SC, Edwards DJ, Santos TEG. Normative data for human postural vertical: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2018;13(9):e0204122.
 124. Fiori F, Candidi M, Acciarino A, David N, Aglioti SM. The right temporoparietal junction plays a causal role in maintaining the internal representation of verticality. *J Neurophysiol.* 2015 Nov 1;114(5):2983–90.
 125. Baier B, Suchan J, Karnath H-O, Dieterich M. Neural correlates of disturbed

- perception of verticality. *Neurology*. 2012 Mar 6;78(10):728–35.
126. Kheradmand A, Winnick A. Perception of Upright: Multisensory Convergence and the Role of Temporo-Parietal Cortex. *Front Neurol*. 2017 Oct 25;8.
 127. Brandt T, Dieterich M. Thalamocortical network: a core structure for integrative multimodal vestibular functions. *Curr Opin Neurol*. 2019 Feb;32(1):154–64.
 128. Cuturi LF, Gori M. The Effect of Visual Experience on Perceived Haptic Verticality When Tilted in the Roll Plane. *Front Neurosci*. 2017 Dec 6;11.
 129. Tarnutzer AA, Bockisch CJ, Olasagasti I, Straumann D. Egocentric and allocentric alignment tasks are affected by otolith input. *J Neurophysiol*. 2012 Jun 1;107(11):3095–106.
 130. Mittelstaedt H. A new solution to the problem of the subjective vertical. *Naturwissenschaften*. 1983 Jun;70(6):272–81.
 131. Fraser LE, Makooie B, Harris LR. The Subjective Visual Vertical and the Subjective Haptic Vertical Access Different Gravity Estimates. van Elk M, editor. *PLoS One*. 2015 Dec 30;10(12):e0145528.
 132. Guerraz M, Yardley L, Bertholon P, Pollak L, Rudge P, Gresty MA, et al. Visual vertigo: symptom assessment, spatial orientation and postural control. *Brain*. 2001 Aug;124(Pt 8):1646–56.
 133. Bisdorff AR, Wolsley CJ, Anastasopoulos D, Bronstein AM, Gresty MA. The perception of body verticality (subjective postural vertical) in peripheral and central vestibular disorders. *Brain*. 1996 Oct;119 (Pt 5):1523–34.
 134. Fernandez C, Goldberg JM. Physiology of peripheral neurons innervating otolith organs of the squirrel monkey. I. Response to static tilts and to long-duration centrifugal force. *J Neurophysiol*. 1976 Sep 1;39(5):970–84.
 135. Perennou D, Piscicelli C, Barbieri G, Jaeger M, Marquer A, Barra J. Measuring verticality perception after stroke: why and how? *Neurophysiol Clin*. 2014 Jan;44(1):25–32.
 136. Witkin HA, Asch SE. Studies in space orientation. III. Perception of the upright in the absence of a visual field. *J Exp Psychol*. 1948;38(5):603–14.
 137. Dakin CJ, Rosenberg A. Gravity estimation and verticality perception. In 2018. p. 43–59.
 138. Schuler JR, Bockisch CJ, Straumann D, Tarnutzer AA. Precision and accuracy of the subjective haptic vertical in the roll plane. van Elk M, editor. *BMC Neurosci*. 2010 Jul 14;11(12):83.
 139. Rousseaux M, Braem B, Honoré J, Saj A. An anatomical and psychophysical comparison of subjective verticals in patients with right brain damage. *Cortex*. 2015 Aug;69:60–7.
 140. Tribukait A, Bergenius J, Brantberg K. The subjective visual horizontal for different body tilts in the roll plane: characterization of normal subjects. *Brain Res Bull*. 1996;40(5–6):373–5.
 141. Zakaria MN, Tahir A, Zainun Z, Salim R, Mohd Sakeri NS, Abdul Wahat NH. The influence of type of visual image and gender on the perception of horizontality: a subjective visual horizontal (SVH) study. *Acta Otolaryngol*. 2020 Sep 22;1–4.
 142. Pagarkar W, Bamiou D-E, Ridout D, Luxon LM. Subjective Visual Vertical and Horizontal. *Arch Otolaryngol Neck Surg*. 2008 Apr 1;134(4):394.
 143. Piscicelli C, Nadeau S, Barra J, Perennou D. Assessing the visual vertical: how many trials are required? *BMC Neurol*. 2015 Oct;15:215.
 144. Piscicelli C, Perennou D. Visual verticality perception after stroke: A systematic review of methodological approaches and suggestions for standardization. *Ann Phys Rehabil Med*. 2017 Jun;60(3):208–16.

145. Dieterich M, Brandt T. Ocular torsion and tilt of subjective visual vertical are sensitive brainstem signs. *Ann Neurol*. 1993 Mar;33(3):292–9.
146. Bronstein AM, Perennou DA, Guerraz M, Playford D, Rudge P. Dissociation of visual and haptic vertical in two patients with vestibular nuclear lesions. *Neurology*. 2003 Nov 11;61(9):1260–2.
147. Ashish G, Augustine AM, Tyagi AK, Lepcha A, Balraj A. Subjective Visual Vertical and Horizontal in Vestibular Migraine. *J Int Adv Otol*. 2017 Aug;13(2):254–8.
148. Brandt T, Dieterich M. Vestibular syndromes in the roll plane: topographic diagnosis from brainstem to cortex. *Ann Neurol*. 1994 Sep;36(3):337–47.
149. Dai T, Kurien G, Lin VY. Mobile phone app Vs bucket test as a subjective visual vertical test: a validation study. *J Otolaryngol Head Neck Surg*. 2020 Feb;49(1):6.
150. Zwergal A, Rettinger N, Frenzel C, Dieterich M, Brandt T, Strupp M. A bucket of static vestibular function. *Neurology*. 2009 May;72(19):1689–92.
151. Chang T-P, Winnick AA, Hsu Y-C, Sung P-Y, Schubert MC. The bucket test differentiates patients with MRI confirmed brainstem/cerebellar lesions from patients having migraine and dizziness alone. *BMC Neurol*. 2019 Sep;19(1):219.
152. Kandemir A, Çelebisoy N, Köse T. Perception of Verticality in Patients with Primary Headache Disorders. *J Int Adv Otol*. 2014 Aug 1;10(2):138–43.
153. Frisé L. Ocular torsions and the subjective visual vertical with central vestibulo-ocular system lesions: Independence disproved. *Acta Neurol Scand*. 2012;126(3):205–9.
154. Taylor RL, Welgampola MS. Otolith function testing. Vol. 82, *Advances in Otorhino-Laryngology*. Institute of Clinical Neurosciences, Royal Prince Alfred Hospital and Central Clinical School, University of Sydney, Sydney, NSW 2050, Australia: S. Karger AG; 2019. p. 47–55.
155. Kerkhoff G, Marquardt C. VS — A new computer program for detailed offline analysis of visual-spatial perception. *J Neurosci Methods*. 1995;63(1):75–84.
156. Kerkhoff G. Multimodal spatial orientation deficits in left-sided visual neglect. *Neuropsychologia*. 1999 Nov;37(12):1387–405.
157. Negrillo-Cardenas J, Rueda-Ruiz AJ, Ogayar-Anguaita CJ, Lomas-Vega R, Segura-Sanchez RJ. A System for the Measurement of the Subjective Visual Vertical using a Virtual Reality Device. *J Med Syst*. 2018 May;42(7):124.
158. Rodríguez-Almagro D, Obrero-Gaitán E, Lomas-Vega R, Zagalaz-Anula N, Catalina Osuna-Pérez M, Achalandabaso-Ochoa A. New mobile device to measure verticality perception: results in young subjects with headaches. *Diagnostics*. 2020;10(10).
159. Witkin HA, Lewis HB, Hertzman M, Machover P, Bretnall Meissner P. Personality Through Perception. An Experimental and Clinical Study. *Q Rev Biol*. 1954 Dec;29(4):413–4.
160. Oltman PK. A Portable Rod-and-Frame Apparatus. *Percept Mot Skills*. 1968 Apr 2;26(2):503–6.
161. Bagust J, Docherty S, Haynes W, Telford R, Isableu B. Changes in rod and frame test scores recorded in schoolchildren during development--a longitudinal study. *PLoS One*. 2013;8(5):e65321.
162. Takasaki H, Treleaven J, Johnston V, Jull G. Minimum repetitions for stable measures of visual dependency using the dot version of the computer-based Rod-Frame test. *Man Ther*. 2012 Oct;17(5):466–9.
163. Bagust J. Assessment of verticality perception by a rod-and-frame test: preliminary observations on the use of a computer monitor and video eye glasses. *Arch Phys*

- Med Rehabil. 2005 May;86(5):1062–4.
164. Lacour M, Barthelemy J, Borel L, Magnan J, Xerri C, Chays A, et al. Sensory strategies in human postural control before and after unilateral vestibular neurotomy. *Exp Brain Res*. 1997 Jun 16;115(2):300–10.
 165. Ulozienė I, Totilienė M, Balnytė R, Kuzminienė A, Kregždytė R, Paulauskas A, et al. Subjective visual vertical and visual dependency in patients with multiple sclerosis. *Mult Scler Relat Disord*. 2020 Sep;44:102255.
 166. Guerraz M, Poquin D, Ohlmann T. The role of head-centric spatial reference with a static and kinetic visual disturbance. *Percept Psychophys*. 1998 Jan;60(2):287–95.
 167. Akin FW, Murnane OD, Pearson A, Byrd S, Kelly JK. Normative data for the subjective visual vertical test during centrifugation. *J Am Acad Audiol*. 2011;22(7):460–8.
 168. Murray KJ, Hill KD, Phillips B, Waterston J. The influence of otolith dysfunction on the clinical presentation of people with a peripheral vestibular disorder. *Phys Ther*. 2007 Feb;87(2):143–52.
 169. Dichgans J, Held R, Young LR, Brandt T. Moving visual scenes influence the apparent direction of gravity. *Science*. 1972 Dec;178(4066):1217–9.
 170. Brandt T, Dieterich M, Danek A. Vestibular cortex lesions affect the perception of verticality. *Ann Neurol*. 1994;35(4):403–12.
 171. Piscicelli C, Barra J, Davoine P, Chrispin A, Nadeau S, Pérennou D. Inter- and Intra-Rater Reliability of the Visual Vertical in Subacute Stroke. *Stroke*. 2015 Jul;46(7):1979–83.
 172. Pérennou DA, Mazibrada G, Chauvineau V, Greenwood R, Rothwell J, Gresty MA, et al. Lateropulsion, pushing and verticality perception in hemisphere stroke: a causal relationship? *Brain*. 2008 Sep;131(Pt 9):2401–13.
 173. Piscicelli C, Pérennou D. Visual verticality perception after stroke: A systematic review of methodological approaches and suggestions for standardization. Vol. 60, *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. Elsevier Masson SAS; 2017. p. 208–16.
 174. Yelnik AP, Lebreton FO, Bonan I V, Colle FMC, Meurin FA, Guichard JP, et al. Perception of verticality after recent cerebral hemispheric stroke. *Stroke*. 2002 Sep;33(9):2247–53.
 175. Mansfield A, Fraser L, Rajachandrakumar R, Danells CJ, Knorr S, Campos J. Is perception of vertical impaired in individuals with chronic stroke with a history of “pushing”? *Neurosci Lett*. 2015 Mar;590:172–7.
 176. Choi J-H, Seo J-D, Choi YR, Kim M-J, Kim H-J, Kim JS, et al. Inferior cerebellar peduncular lesion causes a distinct vestibular syndrome. *Eur J Neurol*. 2015 Jul;22(7):1062–7.
 177. Baier B, Janzen J, Muller-Forell W, Fechir M, Muller N, Dieterich M. Pusher syndrome: its cortical correlate. *J Neurol*. 2012 Feb;259(2):277–83.
 178. Piscicelli C, Barra J, Sibille BRICE, Bourdillon C, Guerraz M, Pérennou DA. Maintaining Trunk and Head Upright Optimizes Visual Vertical Measurement after Stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2016;
 179. Funk J, Finke K, Müller HJ, Utz KS, Kerkhoff G. Effects of lateral head inclination on multimodal spatial orientation judgments in neglect: evidence for impaired spatial orientation constancy. *Neuropsychologia*. 2010 May;48(6):1616–27.
 180. Treleaven J, Takasaki H. High variability of the subjective visual vertical test of vertical perception, in some people with neck pain - Should this be a standard measure of cervical proprioception? *Man Ther*. 2015 Feb;20(1):183–8.

181. Baccini M, Paci M, Del Colletto M, Ravenni M, Baldassi S. The assessment of subjective visual vertical: comparison of two psychophysical paradigms and age-related performance. *Atten Percept Psychophys*. 2014 Jan;76(1):112–22.
182. Zamergrad M V., Levin OS. Metavestibular disorders and disorders of higher vestibular function. *Zhurnal Nevrol i psikiatrii im SS Korsakova*. 2017;117(6):11.
183. Dunlap PM, Holmberg JM, Whitney SL. Vestibular rehabilitation: advances in peripheral and central vestibular disorders. *Curr Opin Neurol*. 2019 Feb;32(1):137–44.
184. Nodehi Moghadam A, Goudarzian M, Azadi F, Hosseini SM, Mosallanezhad Z, Karimi N, et al. Falls and postural control in older adults with cataracts. *Med J Islam Repub Iran*. 2015;29:311.
185. Alrwaily M, Sparto PJ, Whitney SL. Perception of verticality is altered in people with severe chronic low back pain compared to healthy controls: A cross-sectional study. *Musculoskelet Sci Pract*. 2020 Feb;45:102074.
186. Simon AL, Ilharreborde B, Souchet P, Kaufman KR. Dynamic balance assessment during gait in spinal pathologies – A literature review. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2015 Apr;101(2):235–46.
187. Wang X -Q., Pi Y -L., Chen B-., Chen P -J., Liu Y, Wang R, et al. Cognitive motor interference for gait and balance in stroke: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Neurol*. 2015 Mar 5;22(3):555.
188. Donnan GA, Fisher M, Macleod M, Davis SM. Stroke. *Lancet (London, England)*. 2008 May;371(9624):1612–23.
189. Barra J, Benaim C, Chauvineau V, Ohlmann T, Gresty M, Pérennou D. Are rotations in perceived visual vertical and body axis after stroke caused by the same mechanism? *Stroke*. 2008 Nov;39(11):3099–101.
190. Bonan I V, Leman MC, Legargasson JF, Guichard JP, Yelnik AP. Evolution of subjective visual vertical perturbation after stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2006 Dec;20(4):484–91.
191. Boleas-Aguirre MS, Chiron F. [Ocular tilt reaction in thalamic infarct]. *Acta Otorrinolaringol Esp*. 2009;60(6):454–5.
192. Tarnutzer AA, Marti S, Straumann D. Gravity perception in cerebellar patients. *Prog Brain Res*. 2008;171:369–72.
193. Bronstein AM, Yardley L, Moore AP, Cleaves L. Visually and posturally mediated tilt illusion in Parkinson's disease and in labyrinthine defective subjects. *Neurology*. 1996;47(3):651–6.
194. Khattab A, Docherty S, Bagust J, Willington R, Thomas P, Amar K. Subjective visual vertical perception and sense of smell in Parkinson disease. *J Rehabil Res Dev*. 2012;49(6):961–9.
195. Kenig D, Kantor I, Jurkiewicz D. [Evaluation of the equilibrium system in patients with multiple sclerosis based on qualitative assessment with videonystagmography]. *Pol Merkur Lekarski*. 2005 Sep;19(111):301–3.
196. Johannsen L, Fruhmann Berger M, Karnath H-O. Subjective visual vertical (SVV) determined in a representative sample of 15 patients with pusher syndrome. Vol. 253, *Journal of neurology*. Germany; 2006. p. 1367–9.
197. Ferreira ML, de Luca K. Spinal pain and its impact on older people. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2017 Apr;31(2):192–202.
198. Grod JP, Diakow PR. Effect of neck pain on verticality perception: a cohort study. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002 Mar;83(3):412–5.
199. Docherty S, Schärer R, Bagust J, Humphreys BK. Perception of subjective visual vertical and horizontal in patients with chronic neck pain: a cross-sectional

- observational study. *Man Ther.* 2012 Apr;17(2):133–8.
200. Cakrt O, Slabý K, Viktorinová L, Kolář P, Jeřábek J. Subjective visual vertical in patients with idiopathic scoliosis. *J Vestib Res.* 2011;21(3):161–5.
 201. Cheung J, Sluiter WJ, Veldhuizen AG, Cool JC, Van Horn JR. Perception of vertical and horizontal orientation in children with scoliosis. *J Orthop Res.* 2002 May;20(3):416–20.
 202. Röijezon U, Clark NC, Treleaven J. Proprioception in musculoskeletal rehabilitation. Part 1: Basic science and principles of assessment and clinical interventions. *Man Ther.* 2015 Jun;20(3):368–77.
 203. Treleaven J. Dizziness, Unsteadiness, Visual Disturbances, and Sensorimotor Control in Traumatic Neck Pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2017 Jul;47(7):492–502.
 204. Antoniadou N, Hatzitaki V, Stavridis SI, Samoladas E. Verticality perception reveals a vestibular deficit in adolescents with idiopathic scoliosis. *Exp brain Res.* 2018 Jun;236(6):1725–34.
 205. Bisdorff A, Von Brevern M, Lempert T, Newman-Toker DE. Classification of vestibular symptoms: towards an international classification of vestibular disorders. *J Vestib Res.* 2009;19(1–2):1–13.
 206. Faralli M, Ricci G, Ibba MC, Crognoletti M, Longari F, Frenguelli A. Dizziness in patients with recent episodes of benign paroxysmal positional vertigo: real otolithic dysfunction or mental stress? *J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2009 Jun;38(3):375–80.
 207. Murray KJ, Hill KD, Phillips B, Waterston J. The Influence of Otolith Dysfunction on the Clinical Presentation of People With a Peripheral Vestibular Disorder. *Phys Ther.* 2007 Feb 1;87(2):143–52.
 208. Willis JR, Vitale SE, Agrawal Y, Ramulu PY. Visual impairment, uncorrected refractive error, and objectively measured balance in the united states. *JAMA Ophthalmol.* 2013 Aug;131(8):1049–56.
 209. Kristjansson E, Treleaven J. Sensorimotor function and dizziness in neck pain: implications for assessment and management. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2009 May;39(5):364–77.
 210. Harrill WC, Melon DE, Seshul MJ, Katz MS, Zanation AM. Contemporary analysis of practicing otolaryngologists. *Laryngoscope.* 2018 Nov 1;128(11):2490–9.
 211. Faralli M, Lapenna R, Cipriani L, Ricci G. Subjective Visual Vertical Perception in Peripheral Vestibular Diseases. *Glob J Otolaryngol.* 2017;7(2).
 212. Nair MA, Mulavara AP, Bloomberg JJ, Sangi-Haghpeykar H, Cohen HS. Visual dependence and spatial orientation in benign paroxysmal positional vertigo. *J Vestib Res Equilib Orientat.* 2018;27(5–6):279–86.
 213. Kumagami H, Sainoo Y, Fujiyama D, Baba A, Oku R, Takasaki K, et al. Subjective visual vertical in acute attacks of Meniere's disease. *Otol Neurotol Off Publ Am Otol Soc Am Neurotol Soc [and] Eur Acad Otol Neurotol.* 2009 Feb;30(2):206–9.
 214. Sainoo Y, Terakado M, Fujiyama D, Kumagami H, Takahashi H. Binocular and monocular measurements of subjective visual vertical in vestibular loss. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology.* 2012 Jan;269(1):57–60.
 215. Hafstrom A, Fransson PA, Karlberg M, Magnusson M. Ipsilesional visual field dependency for patients with vestibular schwannoma. *Neuroreport.* 2004 Oct 5;15(14):2201–4.
 216. Hong SM, Yeo SG, Byun JY, Park MS, Park CH, Lee JH. Subjective visual vertical

- during eccentric rotation in patients with vestibular neuritis. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology*. 2010 Mar;267(3):357–61.
217. Dai MJ, Curthoys IS, Halmagyi GM. Linear acceleration perception in the roll plane before and after unilateral vestibular neurectomy. *Exp Brain Res*. 1989 Sep;77(2):315–28.
218. Stovner LJ, Nichols E, Steiner TJ, Abd-Allah F, Abdelalim A, Al-Raddadi RM, et al. Global, regional, and national burden of migraine and tension-type headache, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet Neurol*. 2018 Nov 1;17(11):954–76.
219. Carvalho GF, Chaves TC, Gonçalves MC, Florencio LL, Braz CA, Dach F, et al. Comparison between neck pain disability and cervical range of motion in patients with episodic and chronic migraine: A cross-sectional study. *J Manipulative Physiol Ther*. 2014 Nov 1;37(9):641–6.
220. Blaschek A, Milde-Busch A, Straube A, Schankin C, Langhagen T, Jahn K, et al. Self-reported muscle pain in adolescents with migraine and tension-type headache. *Cephalalgia*. 2012 Feb 16;32(3):241–9.
221. Teggi R, Manfrin M, Balzanelli C, Gatti O, Mura F, Quagliari S, et al. Point prevalence of vertigo and dizziness in a sample of 2672 subjects and correlation with headaches. *Acta Otorhinolaryngol Ital organo Uff della Soc Ital di Otorinolaringol e Chir Cerv-facc*. 2016 Jun;36(3):215–9.
222. Cachinero-Torre A, Díaz-Pulido B, Asúnsolo-Del-Barco Á. Relationship of the Lateral Rectus Muscle, the Supraorbital Nerve, and Binocular Coordination with Episodic Tension-Type Headaches Frequently Associated with Visual Effort. *Pain Med*. 2017 May;18(5):969–79.
223. Bisdorff A, Andrée C, Vaillant M, Sándor PS. Headache-associated dizziness in a headache population: prevalence and impact. *Cephalalgia* [Internet]. 2010 Jul 12 [cited 2020 Jul 23];30(7):815–20. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20647172>
224. Stroup DF, Berlin JA, Morton SC, Olkin I, Williamson GD, Rennie D, et al. Meta-analysis of observational studies in epidemiology: A proposal for reporting. Meta-analysis of Observational Studies in Epidemiology (MOOSE) Group. *J Am Med Assoc*. 2000 Apr 19;283(15):2008–12.
225. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *J Clin Epidemiol*. 2009 Oct;62(10):1006–12.
226. Higgins JPT, Green S. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Intervention* Version 5.1.0 [updated March 2011] [Internet]. London, UK: The Cochrane Collaboration; 2011. Available from: www.cochrane-handbook.org
227. Cooper H, Hedges LV, Valentine JC. *The Handbook of Research Synthesis and Meta-Analysis*. Russell Sage Foundation; 2009.
228. Del-Pino-Casado R. La revisión sistemática cuantitativa en enfermería. *Rev Iberoam Enfermería Comunitaria*. 2014 Jan 1;7:24–39.
229. Hozo SP, Djulbegovic B, Hozo I. Estimating the mean and variance from the median, range, and the size of a sample. *BMC Med Res Methodol*. 2005 Apr;5:13.
230. Wells GA, Shea B, O’Connell D, Peterson J, Welch V, Losos M, et al. The Newcastle-Ottawa Scale (NOS) for assessing the quality of nonrandomised studies in meta-analyses.
231. Lo CK-L, Mertz D, Loeb M. Newcastle-Ottawa Scale: comparing reviewers’ to authors’ assessments. *BMC Med Res Methodol*. 2014 Apr;14:45.
232. Luchini C, Stubbs B, Solmi M, Veronese N. Assessing the quality of studies in

- meta-analyses: Advantages and limitations of the Newcastle Ottawa Scale. *World J Meta-Analysis*. 2017;5(4):80.
233. Meader N, King K, Llewellyn A, Norman G, Brown J, Rodgers M, et al. A checklist designed to aid consistency and reproducibility of GRADE assessments: development and pilot validation. *Syst Rev*. 2014 Jul;3:82.
234. Atkins D, Best D, Briss PA, Eccles M, Falck-Ytter Y, Flottorp S, et al. Grading quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ*. 2004 Jun 17;328(7454):1490.
235. Borenstein M, Hedges L, Higgins J, Rothstein H. *Comprehensive meta-analysis software version 3* [Internet]. Englewood, NJ, USA: Biostat; 2020. Available from: <https://www.meta-analysis.com/>
236. DerSimonian R, Laird N. Meta-analysis in clinical trials. *Control Clin Trials*. 1986;7(3):177–88.
237. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. New York, New York: Academic Press; 1977.
238. Faraone S V. Interpreting estimates of treatment effects: Implications for managed care. *P T*. 2008;33(12):700–11.
239. Rücker G, Schwarzer G. Beyond the forest plot: The drapery plot. *Res Synth Methods*. 2020 Apr;
240. Sterne JAC, Egger M. Funnel plots for detecting bias in meta-analysis: Guidelines on choice of axis. *J Clin Epidemiol*. 2001;54(10):1046–55.
241. Peters JL, Sutton AJ, Jones DR, Abrams KR, Rushton L. Comparison of two methods to detect publication bias in meta-analysis. *JAMA*. 2006 Feb;295(6):676–80.
242. Duval S, Tweedie R. Trim and fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics*. 2000;56(2):455–63.
243. Higgins JPT, Thompson SG, Deeks JJ, Altman DG. Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ*. 2003 Sep;327(7414):557–60.
244. Higgins JPT, Altman DG, Gøtzsche PC, Jüni P, Moher D, Oxman AD, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*. 2011 Oct;343:d5928.
245. Higgins J, Thompson S, Deeks J, Altman D. Statistical heterogeneity in systematic reviews of clinical trials: A critical appraisal of guidelines and practice. *J Heal Serv Res Policy*. 2002;7(1):51–61.
246. Molina F, Lomas-Vega R, Obrero-Gaitán E, Rus A, Almagro DR, Del-Pino-Casado R. Misperception of the subjective visual vertical in neurological patients with or without stroke: A meta-analysis. *NeuroRehabilitation*. 2019 Jun 20;44(3):379–88.
247. Obrero-Gaitán E, Molina F, Del-Pino-Casado R, Ibáñez-Vera AJ, Rodríguez-Almagro D, Lomas-Vega R. Visual Verticality Perception in Spinal Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 2020 Jun;9(6).
248. Obrero-Gaitán E, Molina F, Montilla-Ibáñez M, Del-Pino-Casado R, Rodríguez-Almagro D, Lomas-Vega R. Misperception of Visual Vertical in Peripheral Vestibular Disorders. A Systematic Review With Meta-Analysis. *Laryngoscope*. 2020 Sep 23;lary.29124.
249. Obrero-Gaitán E, Manrique-Navarro M, Lérída-Ortega MÁ, Rodríguez-Almagro D, Osuna-Pérez MC, Lomas-Vega R. Misperception of Visual Verticality in Patients with Primary Headache Disorders: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Brain Sci*. 2020 Sep 24;10(10):664.

250. Catalá-López F, Tobías A, Roqué M. Conceptos básicos del metaanálisis en red. *Atención Primaria*. 2014 Dec;46(10):573–81.
251. Walker E, Hernandez A V., Kattan MW. Meta-analysis: Its strengths and limitations. *Cleve Clin J Med*. 2008 Jun 1;75(6):431–9.
252. Escrig Sos VJ, Lluca Abella JA, Granel Villach L, Bellver Oliver M. Metaanálisis: una forma básica de entender e interpretar su evidencia. *Rev Senol y Patol Mamar*. 2020 Jul;
253. Molinero Casares LM. Metaanálisis: claves para interpretar una herramienta de investigación controvertida. *Hipertens y Riesgo Vasc*. 2001 Jan;18(5):232–40.
254. Molina F, Lomas-Vega R, Obrero-Gaitán E, Rus A, Almagro DR, Del-Pino-Casado R. Misperception of the subjective visual vertical in neurological patients with or without stroke: A meta-analysis. *NeuroRehabilitation*. 2019;44(3).
255. Anderlini D, Wallis G, Marinovic W. Language as a Predictor of Motor Recovery: The Case for a More Global Approach to Stroke Rehabilitation. *Neurorehabil Neural Repair*. 2019 Mar 13;33(3):167–78.
256. Yeo SS, Jang SH, Kwon JW. Central vestibular disorder due to ischemic injury on the parieto-insular vestibular cortex in patients with middle cerebral artery territory infarction. *Medicine (Baltimore)*. 2017 Dec;96(51):e9349.
257. Cho K, Lee G. Impaired Dynamic Balance Is Associated with Falling in Post-Stroke Patients. *Tohoku J Exp Med*. 2013;230(4):233–9.
258. Fonseca BAV da, Pereira CB, Jorge F, Simm R, Apostolos-Pereira S, Callegaro D. A disturbed processing of graviceptive pathways may be involved in the pathophysiology of balance disorders in patients with multiple sclerosis. *Arq Neuropsiquiatr*. 2016 Feb;74(2):106–11.
259. Pereira CB, Kanashiro AK, Maia FM, Barbosa ER. Correlation of impaired subjective visual vertical and postural instability in Parkinson's disease. *J Neurol Sci*. 2014 Nov;346(1–2):60–5.
260. Hara Y. Brain plasticity and rehabilitation in stroke patients. *J Nippon Med Sch*. 2015;82(1):4–13.
261. Faralli M, Ricci G, Manzari L, Zambonini G, Lapenna R, Pettorossi VE. Different time course of compensation of subjective visual vertical and ocular torsion after acute unilateral vestibular lesion. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology*. 2020 Sep 2;
262. Whitney SL, Alghadir AH, Anwer S. Recent Evidence About the Effectiveness of Vestibular Rehabilitation. Vol. 18, *Current Treatment Options in Neurology*. Current Science Inc.; 2016. p. 1–15.
263. Conrad J, Habs M, Boegle R, Ertl M, Kirsch V, Stefanova-Brostek I, et al. Global multisensory reorganization after vestibular brain stem stroke. *Ann Clin Transl Neurol*. 2020 Oct 28;7(10):1788–801.
264. Hiengkaew V, Panichaporn W, Thanungkul S. Postural balance, visual verticality perception, and its association in individuals with and without neck pain. *J Med Assoc Thail*. 2014 Jul;97:S70–4.
265. Catanzariti J-F, Agnani O, Guyot M-A, Wlodyka-Demaille S, Khenioui H, Donze C. Does adolescent idiopathic scoliosis relate to vestibular disorders? A systematic review. *Ann Phys Rehabil Med*. 2014 Aug;57(6–7):465–79.
266. Sanchez-Gonzalez MC, Perez-Cabezas V, Lopez-Izquierdo I, Gutierrez-Sanchez E, Ruiz-Molinero C, Rebollo-Salas M, et al. Is it possible to relate accommodative visual dysfunctions to neck pain? *Ann N Y Acad Sci*. 2018 Jun;1421(1):62–72.
267. Le Berre M, Pradeau C, Brouillard A, Coget M, Massot C, Catanzariti J-F. Do Adolescents With Idiopathic Scoliosis Have an Erroneous Perception of the Gravitational Vertical? *Spine Deform*. 2019;7(1):71–9.

268. Asai M, Aoki M, Hayashi H, Yamada N, Mizuta K, Ito Y. Subclinical deviation of the subjective visual vertical in patients affected by a primary headache. *Acta Otolaryngol.* 2009 Jan;129(1):30–5.
269. Chang TP, Winnick AA, Hsu YC, Sung PY, Schubert MC. The bucket test differentiates patients with MRI confirmed brainstem/cerebellar lesions from patients having migraine and dizziness alone. *BMC Neurol.* 2019 Sep 3;19(1).

13. AGRADECIMIENTOS

Basado en la experiencia vivida durante estos últimos casi cinco años, podría asegurar que la realización de una Tesis Doctoral es un auténtico camino de superación y un proceso íntimo de enseñanza personal, profesional y académica. La realización de esta Tesis Doctoral, entre otras cosas, me ha ayudado a saber lo que realmente quiero y a saber respetar, admirar y valorar personal y profesionalmente a las personas que me rodean.

No podría empezar mis agradecimientos sin hacer una mención especial a las dos personas que me dieron la posibilidad personal, social y económica de ser hoy quien soy. A Juan Antonio, mi padre y a María, mi madre. Hacia ambos solo tengo palabras de agradecimiento por haberme dado la posibilidad de llegar hasta aquí. Aunque mi carácter está más relacionado con la preocupación excesiva que caracteriza la vida de mi madre, he de decir que de mi padre he aprendido que siempre hay que ayudar a los demás, aunque para ello haya que regruñir un poco. De mi madre, poner en alza su fortaleza, sus madrugones, las tardes de frío en el negocio que regentaba y la lucha contra el dolor de espalda que padece desde que tengo uso de razón para poder darnos miles de oportunidades. Gracias por todo lo que me habéis dado y enseñado, espero estar ahí cuando más falta os haga.

Al Dr. D. Rafael Lomas Vega por su tiempo, dedicación y complicidad. Gracias, por apostar por mí y ayudarme a conseguir esa ansiada beca que conseguimos con mucho esfuerzo y mérito común. Te felicito por todo lo que estás logrando en tu carrera investigadora y por el empujón que le estás dando al área y a todos/os los/as que la integramos. Gracias por guardarme un hueco en tu mesa de trabajo y darme un motivo de peso para rechazar numerosos trabajos cuya responsabilidad se dejaba de caer en tu espalda.

Al Dr. D. Francisco Javier Molina Ortega por todas las horas que me ha dedicado y las veces que me ha cogido el teléfono cuando todo lo veía negro. Me siento muy orgulloso de haber trabajado contigo y por haberme embarcado en este proyecto. Este trabajo no podría haber sido llevado a cabo sin todas tus aportaciones. Gracias por todo.

Al Dr. D. Rafael del Pino Casado, un verdadero ejemplo a seguir para cualquier persona que se le enciende en su cabeza la bombilla de la investigación. Eres una persona de las que ya no quedan, de las que sin conocerte te hacen inquilino VIP en su despacho. Muchas gracias por todo el tiempo que me has dedicado y todo lo que me has enseñado.

A mis compañeras de trabajo, colegas, amigos de pasillo y de edificio. En especial a los doctores Alfonso Javier Ibáñez Vera y Daniel Rodríguez Almagro por haber compartido un tiempo muy bonito fuera de España, muchos cafés durante el confinamiento y muchas complicidades y proyectos. A la Dra. María Catalina Osuna Pérez, por ser, con mayúscula, un verdadero ejemplo a seguir en la vida académica y personal. Finalmente, a la Dra. María del Carmen López Ruiz por brindarnos siempre palabras de ánimo ante cualquier imprevisto; a D^a. Ángeles Díaz Fernández por haber comandado un gran barco entre marejadas y tempestades habiendo dado lo máximo en el trabajo que ninguno quería; y a todos/as los/as que sin nombrar aquí estáis presente en mi corazón.

Al Dr. Giovanni Barassi, profesor del Curso de Laurea en Fisioterapia en la Università Gabrielle d'Annunzio de Chieti-Pescara (Italia), por abrirme las puertas de su Universidad durante los meses de mi estancia internacional, así como por haberme ayudado en todo lo necesario para poder llevar a cabo la investigación. Gracias por permitirme dedicar un tiempo de mi vida aprendiendo de vosotros.

A D. Christian-Pasquale Visciano, profesor del Curso de Laurea en Fisioterapia en la Università Gabrielle d'Annunzio de Chieti-Pescara (Italia) y su esposa Cristina por hacerme muy fácil la vida en Italia. Gracias por todo el tiempo que me dedicasteis, los lugares que me enseñasteis y el calor que me disteis. Aquí, en mi casa, tenéis también la vuestra. Espero veros pronto y muchas gracias por todo.

A mi hermano Domingo, que es la persona que siempre he tenido como referente desde que era pequeño.

A Víctor Pérez Cárdenas por la realización de la ilustración de la portada de esta Tesis Doctoral.

Finalmente, y no por ello menos importante, quisiera parar y agradecerte todo el tiempo que has compartido conmigo. Te conocí con este proyecto ya empezado y me has dado siempre fuerzas y motivos para seguir adelante. Además, creo que ambos hemos aprendido mucho más por luchar juntos viviendo el día a día, que por embarcarnos en numerosos estudios año tras año. Me gustaría darte las gracias por darle a mi casa el calor de hogar que necesitaba, por apoyarme y sobre todo por hacerme comprender que es necesario saber vivir para sacarle el máximo rendimiento al trabajo. Ahora vamos juntos a por todo lo que nos queda. Irene, cuenta conmigo.

Atentamente,
Esteban Obrero Gaitán



*Ilustración de la portada de la presente Tesis Doctoral
Artista: D. Víctor Pérez Cárdenas*

Representa la percepción errónea de la visual vertical debido a la integración incorrecta de inputs vestibulares, visuales y somato-sensoriales que generan una construcción errónea del modelo interno de verticalidad en el sujeto.

