
VNIVERSITAT DE VALÈNCIA

 **Facultat de Ciències de l'Activitat Física i l'Esport**



TESIS DOCTORAL

PROGRAMA DE DOCTORADO EN ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE.

**INFLUENCIA DE LA TAREA DUAL Y LA RESTRICCIÓN SENSORIAL
SOBRE EL CONTROL POSTURAL EN LOS ADOLESCENTES DE 13 A 18
AÑOS.**

PRESENTADA POR:

D. SERGIO GANDIA DELEGIDO

DIRIGIDA POR:

DRA. DÑA. MARÍA TERESA PELLICER CHENOLL

DR. D. XAVIER GARCÍA MASSÓ

DR. D. JOSÉ LUIS BERMEJO RUIZ

Valencia, 2020

Dr. D. Xavier García Massó, Profesor Titular de la Universidad de Valencia, adscrito al Departamento de Expresión Musical, Plástica y Corporal.

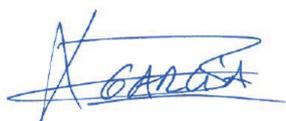
Dr. D. José Luis Bermejo Ruiz, Profesor Asociado de la Universidad de Valencia, adscrito al Departamento Educación Física y Deportiva.

Dra. Dña. María Teresa Pellicer Chenoll, Ayudante Doctora de la Universidad de Valencia, adscrita al Departamento Educación Física y Deportiva.

CERTIFICAN:

Que el presente trabajo titulado “INFLUENCIA DE LA TAREA DUAL Y LA RESTRICCIÓN SENSORIAL SOBRE EL CONTROL POSTURAL EN LOS ADOLESCENTES DE 13 A 18 AÑOS” ha sido realizado bajo su dirección, por D. Sergio Gandía Delegido, en el Programa de Doctorado de “Actividad Física y Deporte” para la obtención del título de Doctor por la Universidad de Valencia.

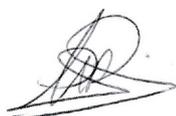
Y para que así conste, a los efectos legales oportunos, se expide y firma la presente certificación en Valencia a 5 de Octubre de 2020.



Dr. D. Xavier García Massó



Dr. D. José Luis Bermejo Ruiz



Dra. Dña. María Teresa Pellicer Chenoll

AGRADECIMIENTOS

La elaboración y finalización de esta investigación es la culminación de un largo tiempo de estudio, trabajo, reflexión, y esfuerzo. Durante este proceso, muchas personas me han ayudado y motivado a seguir. Por tanto, quiero dedicarles unas breves palabras para expresarles mis más sinceros agradecimientos.

En primer lugar, quiero agradecer a mis directores Dr. D. Xavier García Massó, Dr. D. José Luis Bermejo Ruiz y Dra. Dña. María Teresa Pellicer Chenoll el simple hecho de que me acogieran en su grupo de investigación con los brazos abiertos. Hemos compartido diferentes momentos que han hecho que la elaboración de la investigación fuera un camino más ameno y divertido. No puedo olvidarme de Isaac Estevan, Israel Villarrasa, Raúl Fernández y Alberto Pardo, compañeros que se han involucrado en este proyecto. Gracias al apoyo mutuo, hemos ido superando las diferentes dificultades y consiguiendo cada uno sus objetivos. Por tanto, al trabajar de forma cohesionada y cooperativa, han hecho que todo el trabajo fuera más fácil. Volviendo a mis tres directores, Dr. D. Xavier García Massó, Dr. D. José Luis Bermejo Ruiz y Dra. Dña. María Teresa Pellicer Chenoll, mencionar que su amplio conocimiento y experiencia me permitieron centrarme en un tema apasionante y actual, el cual tiene mucha importancia en el desarrollo motriz y cognitivo de los adolescentes. Sus conocimientos, su profesionalidad a la hora de enseñarlos, su apoyo y comprensión han estado presentes durante todo este trayecto, consiguiendo llevar a buen puerto mi trabajo de investigación. Gracias por confiar y creer en mí. Añadir su gran calidad humana, la cual siempre llevaré conmigo como ejemplo.

En segundo lugar, dar las gracias a todos los adolescentes que han participado en las pruebas y a sus familiares por permitir que participaran.

Por último, agradecer a toda mi familia por impulsarme a seguir siempre adelante con empeño y motivación para conseguir terminar este proyecto. Un apoyo vital que día a día me ha dado la fuerza necesaria para ir avanzando en este largo camino.

A todos, muchas gracias por vuestra paciencia y comprensión.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN DE LOS ESTUDIOS	19
RESUMEN	21
1. INTRODUCCIÓN.....	27
2. MARCO TEÓRICO	33
2.1. EQUILIBRIO Y CONTROL POSTURAL	33
2.1.1. Definiciones.....	33
2.1.2. Mecanismos y bases neurofisiológicas.....	36
2.1.3. Estrategias posturales	43
2.1.4. Análisis de las variables del control postural.....	47
2.1.5. Factores que afectan al control postural	52
2.1.6. Desarrollo del control postural.....	55
2.2. INFORMACIÓN SENSORIAL EN EL MANTENIMIENTO DEL EQUILIBRIO	59
2.2.1. Integración de la información	59
2.2.2. Efectos de la restricción de la información sensorial en el equilibrio	61
2.2.3. Cambios en la ponderación sensorial en función de las condiciones	62
2.3. TAREAS DUALES	68
2.3.1. Funciones cognitivas	73
2.3.2. Modelos de interferencia.....	83
3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	91

3.1. OBJETIVOS.....	91
3.1.1. Objetivos generales.....	91
3.1.2. Objetivos específicos.....	92
3.2. HIPÓTESIS	92
4. ESTUDIOS.....	97
4.1. INTRODUCCIÓN	97
4.2. ESTUDIO 1: Diferencias entre adolescentes en la estabilidad corporal unipodal.....	99
4.2.1. Introducción.....	99
4.2.2. Material y método.....	100
4.2.3. Resultados.....	102
4.2.4. Discusión	103
4.2.5. Conclusiones	105
4.3. ESTUDIO 2: Influencia de una tarea de memoria de trabajo en la estabilidad postural y la función cognitiva de los adolescentes.....	107
4.3.1. Introducción.....	107
4.3.2. Métodos.....	109
4.3.3. Resultados.....	113
4.3.4. Discusión	116
4.3.5. Conclusiones	119
4.4. ESTUDIO 3: Reponderación sensorial en posición bípeda en adolescentes	121
4.4.1. Introducción.....	121

4.4.2. Métodos.....	123
4.4.3. Resultados.....	126
4.4.4. Discusión	131
4.4.5. Conclusiones	134
5. CONCLUSIONES	139
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	143
7. ANEXOS.....	173

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AP: Antero-posterior

APA: Ajustes posturales anticipatorios

APR: Ajustes posturales reaccionarios

BoS: Base de sustentación

CoG: Centro de gravedad

CoM: Centro de masas

CoP: Centro de Presiones

DT: Tarea dual

DTC: Coste o déficit de la tarea dual

EA: Área de la elipse

ET: Energía Total

F: Fuerza

FA: Frecuencias altas

FB: Frecuencias bajas

FM: Frecuencias medias

IMC: Índice Masa Corporal

M: Momentos de torsión

MFreq: Frecuencia media del desplazamiento del CoP

ML: Medio-Lateral

MV: Velocidad media del desplazamiento del CoP

MV_{AP}: Velocidad media antero-posterior

MV_{ML}: Velocidad media medio-lateral

Índice de abreviaturas

RD: Distancia vectorial media

RMS: Raíz cuadrada media

RVC: Reflejos vestibulocervicales

RVE: Reflejo vestibuloespinal

RVO: Reflejos vestibulooculares

SNC: Sistema nervioso central

ST: Tarea simple

TOS: Sensory Organization Test

WBB: Wii Balance Board

WMT: Tarea de Memoria de Trabajo

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los sujetos	101
Tabla 2. Diferencias por sexo en las variables de estabilidad postural durante la prueba unipodal.	103
Tabla 3. Diferencias entre grupos de edad en las variables de estabilidad postural durante la prueba Unipodal.	103
Tabla 4. Características descriptivas de la muestra según grupo de edad.	110
Tabla 5. Descriptivos (mediana y rango intercuartil) en las variables de control postural y rendimiento cognitivo según el grupo de edad.	114
Tabla 6. Valor de la magnitud del efecto para cada comparación significativa por pares de la prueba de Kruskal-Wallis según el grupo de edad en condiciones de tareas simple y duales.	115
Tabla 7. Características de los participantes.....	124
Tabla 8. Diferencias entre bloques en posición bípeda con restricción de la información visual.....	127
Tabla 9. Diferencias entre grupos en posición bípeda con restricción de la información visual.....	127
Tabla 10. Efectos univariados del bloque y grupo de edad sobre las variables de control postural durante la posición bípeda con perturbación de la información propioceptiva.....	129

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Esquema del sistema de control postural. A partir de Rama y Pérez, (2004).	36
Figura 2: Esquema sobre las bases neurofisiológicas del control postural, modificado de Martín (2004).	37
Figura 3: Ilustración del sistema nervioso desde la perspectiva anatómica, extraído de Shumway y Woollacott (1995).	38
Figura 4: Las porciones del oído, extraído de Moore y Dalley (2009).	40
Figura 5: Representación gráfica de la estrategia de tobillo y la estrategia de cadera, extraído de Winter (1995).	47
Figura 6: Diferentes tipos de bases de sustentación, en función del tipo de apoyo de los pies, extraída de Izquierdo y Redín (2008).	48
Figura 7: Desplazamiento del centro de gravedad en función de la posición corporal, extraída de Izquierdo y Redín (2008).	49
Figura 8: Representación gráfica de la relación entre BoS y CoP, extraída de Villarrasa-Sapiña, (2019).	49
Figura 9: Representación gráfica de las diferencias según el sexo, extraída de Mickle et al., (2011).	55
Figura 10: Esquema Ontogenético de la organización de las actividades posturocinéticas durante la vida útil, extraída de Assaiante y Amblard (1995).	57
Figura 11: Perturbación sistemas sensoriales.	64
Figura 12: Localización de las funciones cognitivas en las áreas del cerebro, a partir de Portellano (2005) extraído de Bermejo (2015).	75
Figura 13: Modelo de procesamiento de la información del sistema de memoria, modificado de Mayer (2002).	82

Índice de figuras

Figura 14: Diferencias en el control postural y el rendimiento cognitivo según la dificultad de la tarea de memoria de trabajo.....	114
Figura 15: Diferencias entre grupos y bloques en posición bípeda en la condición de perturbación de la información vestibular.	128
Figura 16: Diferencias entre grupos en los tres bloques en posición de pie bípeda con alteración de la información propioceptiva.....	130
Figura 17: Diferencias entre bloques en cada grupo en posición de pie bípeda con alteración de la condición de información propioceptiva.	130

PRESENTACIÓN DE LOS ESTUDIOS

Este trabajo de investigación se compone por una recopilación de 3 estudios, los cuales se han elaborado mientras el autor realizaba el programa de doctorado en Actividad Física y Deporte.

Uno de ellos se ha publicado en una revista española, mientras que los otros dos se han publicado en revistas indexadas en el Journal Citation Reports (JCR) de la Web of Science (WoS), cuyo factor de impacto, cuartil y área de conocimiento se muestra a continuación.

Estudio 1. Diferencias entre adolescentes en la estabilidad corporal unipodal

Revista: *REVISTA INTERNACIONAL DE DEPORTES COLECTIVOS*

ISSN: 1989-841X

Indexada en Latindex catálogo. Editorial Asociación Española de deportes colectivos.

Estudio 2. Working Memory Task Influence in Postural Stability and Cognitive Function in Adolescents

Revista: Motor Control

ISSN: 1087-1640

DOI: <https://doi.org/10.1123/mc.2017-0063>

Categoría		Ciencias del deporte	
Factor de impacto	Ranking	Cuartil	Percentil de factor de impacto
1.302	66/83	Q4	21.084

Estudio 3. Sensorial re-weight during bipedal quiet standing in adolescents.

Revista: Motor Control

ISSN: 1087-1640

DOI: <http://dx.doi.org/10.1123/mc.2018-0119>.

Presentación de los estudios

Categoría		Ciencias del deporte	
Factor de impacto	Ranking	Cuartil	Percentil de factor de impacto
1.302	66/83	Q4	21.084

RESUMEN

El presente proyecto tiene como principal objetivo analizar la influencia de la maduración, de las tareas duales y de la restricción de información sensorial en el control postural de los adolescentes. Para ello se han diseñado tres estudios diferentes con una muestra compuesta por adolescentes de entre 13 a 18 años.

En el estudio 1 se pretende analizar las diferencias en la estabilidad postural unipodal en función del sexo y la edad de los adolescentes de 13 a 18 años. Los resultados obtenidos muestran unos valores más elevados en las variables área de la elipse, velocidad media antero-posterior y medio-lateral en los chicos que en las chicas. Además, los adolescentes de 14 años muestran una mayor elipse que los adolescentes de 16 años.

El estudio 2 examina la estabilidad postural y la función cognitiva dependiendo del incremento de la dificultad de una tarea de memoria de trabajo (3 dígitos, 5 dígitos, 7 dígitos) y de la edad de los adolescentes. Los resultados muestran que tanto la dificultad de la tarea de memoria de trabajo como la edad afectan al rendimiento postural. A medida que los requisitos cognitivos aumentan, los adolescentes no son capaces de mantener su rendimiento en ambas tareas, y tienden a priorizar la estabilidad postural en detrimento de la cognición. El control postural y la cognición maduran con la edad.

En el estudio 3 se investiga la adaptación del control postural durante los cambios en la información de los sistemas sensoriales (visual, propioceptivo y vestibular), para establecer las diferencias en la reponderación sensorial en función de la edad de los adolescentes. Los resultados muestran que los adolescentes de 13-14 años tienen un control postural y estabilidad inferior a los adolescentes mayores (16 años), en cuanto a la manipulación de la información propioceptiva. El sistema de reponderación sensorial parece estabilizarse alrededor de los 15 años.

En conclusión, permiten confirmar que el rendimiento en la estabilidad postural cambia hasta que los adolescentes se adaptan a su nuevo cuerpo, pudiéndose producir alrededor de los 15-16 años un punto de inflexión en la estabilidad corporal.

PALABRAS CLAVE

Adolescencia, control postural, equilibrio, ponderación sensorial, tarea dual.

RESUM

El present projecte té com a principal objectiu analitzar la influència de la maduració, de les tasques duals y de la restricció de la informació sensorial en el control postural dels adolescents. Per això s'han dissenyat tres estudis diferents amb una mostra composta per adolescents d'entre 13 a 18 anys.

En l'estudi 1 es pretén analitzar les diferències en l'estabilitat postural unipodal en funció del sexe i l'edat dels adolescents de 13 a 18 anys. Els resultats obtinguts mostren uns valors més elevats en les variables àrea de l'el·lipse, velocitat mitjana antero-posterior i mig-lateral en els xics que en les xiques. A més, els adolescents de 14 anys mostren una major el·lipse que els adolescents de 16 anys.

L'estudi 2 examina l'estabilitat postural i la funció cognitiva depenent de l'increment de la dificultat d'una tasca de memòria de treball (3 dígit, 5 dígit, 7 dígit) i de l'edat dels adolescents. Els resultats mostren que tant la dificultat de la tasca de memòria de treball com l'edat afecten al rendiment postural. A mesura que els requisits cognitius augmenten, els adolescents no són capaços de mantenir el seu rendiment en les dues tasques, i tendeixen a prioritzar l'estabilitat postural en detriment de la cognició. El control postural i la cognició maduren amb l'edat.

En l'estudi 3 s'investiga l'adaptació del control postural durant els canvis en la informació dels sistemes sensorials (visual, propioceptiu i vestibular), per establir les diferències en la re-ponderació sensorial, en funció de l'edat dels adolescents. Els resultats mostren que els adolescents de 13-14 anys tenen un control postural inferior als adolescents majors (16 anys), pel que fa a la manipulació de la informació propioceptiva. El sistema de re-ponderació sensorial sembla establir-se al voltant dels 15 anys.

En conclusió, permeten confirmar que el rendiment en l'estabilitat postural canvia fins que els adolescents s'adapten al seu nou cos, podent-se produir al voltant dels 15-16 anys un punt d'inflexió en l'estabilitat corporal.

PARAULES CLAU

Adolescència, control postural, equilibri, ponderació sensorial, tasca dual.

ABSTRACT

The main objective of this project is to analyze the influence of maturation, dual tasks and the restriction of sensory information in postural control of adolescents. For this, three different studies have been designed with a sample made up of adolescents between 13 and 18 years old.

In study 1, the aim is to analyze the differences in unipodal postural stability according to sex and the age of adolescents aged 13 to 17 years. The results obtained show higher values in the variables area of the ellipse, average antero-posterior velocity and medium-lateral velocity in boys than in girls. In addition, 14-year-olds show a higher ellipse than 16-year-olds.

Study 2 examines postural stability and cognitive function depending on the increased difficulty of a work memory task (3 digits, 5 digits, 7 digits) and the age of adolescents. The results show that both the difficulty of the working memory task and age affect postural performance. As cognitive requirements increase, adolescents are not able to maintain their performance in both tasks, and tend to prioritize postural stability to the detriment of cognition. Postural control and cognition mature with age.

Study 3 investigates the adaptation of postural control during changes in the information of sensory systems (visual, proprioceptive and vestibular), to establish the differences in sensory reweighting based on the age of adolescents. The results show that adolescents aged 13-14 have lower postural control and stability than older adolescents (16 years), in terms of manipulation of proprioceptive information. The sensory reweighting system seems to stabilize around the age of 15 years.

In conclusion, they allow us to confirm that performance in postural stability changes until adolescents adapt to their new body, and a turning point in body stability can occur around the age of 15-16 years.

KEYWORDS

Adolescence, postural control, balance, re-weighting, dual task.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Durante la adolescencia, tanto los chicos como las chicas están sometidos a una serie de cambios fisiológicos, biológicos, anatómicos, cognitivos..., que van a influir en sus capacidades físico motrices y perceptivo motrices (Márquez & Celis, 2016).

Dentro de estas capacidades, encontramos el control postural y el equilibrio. Debemos considerar que el equilibrio puede ser un indicador de madurez neurológica, y si un niño/a presenta inmadurez en este aspecto, es probable que experimente dificultades en su aprendizaje motriz (Guardiola, Ferreira, & Rotta, 1998). Durante la infancia, la aparición de problemas o deficiencias en el equilibrio pueden ocasionar complicaciones de aprendizaje de futuras habilidades generales o específicas, como por ejemplo aprender a saltar, correr o lanzar. Los problemas en la adquisición de habilidades motrices, de forma indirecta, pueden ocasionar lesiones en las personas (McGuine, Greene, Best, & Levenson, 2000; Willems et al., 2005). Por tanto, conocer cómo se desarrolla el control postural a lo largo de la infancia y la adolescencia es un aspecto clave para poder conseguir, a nivel motriz, un desarrollo integral. En caso de que exista un deterioro del control postural en un niño o adolescente, saber a qué edad se produce, es un hecho que puede ayudar a los profesionales del ámbito educativo, a re-direccionar sus procesos de enseñanza-aprendizaje hacia unas determinadas cualidades u otras.

Por otro lado, el riesgo de sufrir una caída es particularmente alto en niños/as (Kahl, Dortschy, & Ellsäßer, 2007) y en personas mayores (Blake et al., 1988), teniendo la tasa de caídas forma de U invertida (Granacher, Muehlbauer, Gollhofer, Kressig, & Zahner, 2011). Siguiendo esta hipótesis, tanto los bebés (0-5 años) como los niños/as (6-12 años) tienen tasas de lesiones más altas debido a las caídas en comparación con los adolescentes (13-19 años) (Kahl et al., 2007). De esta forma, las caídas se han convertido en una de las principales causas de morbilidad en esta población (Kahl et al., 2007). Ibrahim, Muaidi, Abdelsalam, Hawamdeh, y Alhusaini (2013) basándose en los datos de la Encuesta Nacional de la Salud de Estados Unidos, informaron que

los costes en tratamientos médicos anuales debidos a las caídas en el grupo de edad de 0 a 19 años eran aproximadamente de US 933 millones de dólares.

Existen factores internos que pueden aumentar el riesgo de sufrir una caída. Algunos ejemplos de estos factores son el aumento de la oscilación postural, la inestabilidad de la marcha o el déficit en la fuerza muscular (Kambas et al., 2004). Muchas veces estas caídas pueden producirse durante la realización de dos tareas que se realizan a la vez.

Por tanto, conocer cómo influye la realización de una tarea cognitiva sobre la realización de una tarea motriz puede ayudar a entender los posibles cambios que se producen en el control postural. Hablamos de la realización de las tareas duales (DT), un paradigma que puede aportar información para perfeccionar los procesos de aprendizaje de los niños y adolescentes (Reilly, Woollacott, van Donkelaar, & Saavedra, 2008) o para prevenir las caídas de los adultos mayores (Zijlstra, Ufkes, Skelton, Lundin-Olsson, & Zijlstra, 2008). Por tanto, en el ámbito educativo, el hecho de conocer todos los aspectos relacionados con las DT (tarea motora y cognitiva) puede ayudar a los profesionales a seleccionar los parámetros óptimos a la hora de diseñar sus tareas (Remaud, Boyas, Caron, & Bilodeau, 2012), y de esta forma optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Otro aspecto a tener en cuenta consiste en conocer cómo se integra la información de los sistemas sensoriales y como contribuyen estos en el control postural, debido a que su labor puede variar en función del contexto o las condiciones a las que se enfrenta el cuerpo.

Así pues, conociendo las posibles consecuencias de la inmadurez del equilibrio bien documentadas en la literatura científica y a la luz de los datos aportados por Ibrahim et al., (2013) hay que ser conscientes de la importancia que supone el tener un buen equilibrio corporal y conocer cómo se desarrolla este durante la adolescencia.

En consecuencia, la información ya existente en este aspecto y los datos que se obtendrán en esta investigación podrían tenerse en cuenta en el diseño de programas de actividades, en el deporte juvenil o en la educación física escolar, todos ellos

enfocados, entre otros aspectos, a la mejora del equilibrio. Además, esta información puede ayudar a los fisioterapeutas, médicos, preparadores físicos y docentes a desarrollar programas específicos de mejora del equilibrio en adolescentes, adaptándolos a sus necesidades y características: el sexo, la edad, la maduración biológica o las diferencias morfológicas que se presenten durante la infancia o adolescencia.

2. MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1. EQUILIBRIO Y CONTROL POSTURAL

La postura es una de las bases de la organización del movimiento, donde los segmentos se van ajustando para estabilizarse y permitir una posición estable (Duclos, Duclos, & Measure, 2017). Durante este proceso los diferentes órganos sensoriales junto a sus receptores captan la información, la envían al sistema nervioso periférico y central para interpretarla y así mantener un control postural eficiente. De esta forma, el control postural se convierte en la base de las diferentes actividades motoras que un sujeto realiza.

2.1.1. Definiciones

El **control postural** es la capacidad que tienen los seres humanos para mantener el equilibrio tanto en situaciones estáticas como dinámicas (Alves, Rossi, Pranke, & Lemos, 2013; Rama & Pérez, 2004). Además tiene la finalidad de conservar la orientación, entendiendo esta como la “capacidad para mantener una relación adecuada entre las diferentes partes del organismo, y entre éstas y el ambiente que rodea al sujeto” (Rama & Pérez, 2004, p.63) (Figura 1). Alves et al., (2013) añaden que el control postural tiene dos funciones principales: soporte y equilibrio.

Por otro lado, se conoce como el **equilibrio**, a toda situación en la que se encuentra un cuerpo cuando, pese a tener poca base de sustentación (BoS), logra mantenerse estable sin caerse. Esto se consigue manteniendo el centro de gravedad (CoG) dentro de la BoS (Horak & Macpherson, 2011; Rose, 2014; Burton & Davis, 1992; Palmieri, Ingersoll, Stone, & Krause, 2002; Rothwell, 1987; Lephart & Fu, 2000), bien de manera estática o dinámica (Hageman, Leibowitz, & Blanke, 1995; Hatzitaki, Zlasi, Kollias, & Kioumourtzoglou, 2002; Ibrahim et al., 2013). Rama y Pérez, (2004) consideran que una persona está en equilibrio cuando es “capaz de mantener su centro de masas (CoM) dentro de su base de soporte (BoS)” (p.63).

A nivel biomecánico, la bibliografía (Doyle, Hsiao-Wecksler, Ragan, & Rosengren, 2007; Ortega, 2007; Ragnarsdóttir, 1996; Villarrasa-Sapiña, 2019) entiende el

equilibrio como el momento en el cual un sujeto alinea los diferentes segmentos de su cuerpo en el espacio, con la finalidad de imponerse a la gravedad. Para vencer esta fuerza de la gravedad se activan diferentes grupos musculares (e.g. el erector de la columna en la región dorsal del tronco, los músculos abdominales, glúteo medio, el tensor de la fascia lata, etc.) (Rose, 2014), de forma que hay un constante re-equilibrio postural, aspecto que manifiesta que el equilibrio es oscilante (Kandel et al., 2013; Winter, Patla, Ishac, & Gage, 2003). Además de la fuerza gravitacional, encontramos unas fuerzas de reacción del suelo que se transmiten a través de los pies cuando nos encontramos erguidos. Tanto la fuerza de la gravedad como la fuerza de reacción del suelo son fuerzas externas, pero además de estas, existen unas fuerzas internas. Dichas fuerzas hacen referencia a las alteraciones fisiológicas (e.g. respiración) o a las posibles perturbaciones que crean los grupos musculares que se activan a la hora de mantener la postura (Loram & Lakie, 2002).

De esta forma, cuando la suma de todas las fuerzas (F) o momentos de torsión (M) que intervienen sobre un sujeto son igual a cero (Ec. 1 y 2), podemos decir que dicho cuerpo se encuentra en equilibrio (Bell, 1998).

$$\text{Ec. 1} \quad \Sigma F = 0$$

$$\text{Ec. 2} \quad \Sigma M = 0$$

Por ello, podemos entender que el equilibrio es la capacidad de estabilizar el cuerpo para mantener la postura en reposo mientras hay una integración de información del sistema visual, vestibular y propioceptivo (Mickle, Munro, & Steele, 2011). En consecuencia, el equilibrio o la estabilidad postural no tiene una regulación automática, sino que requiere de una cantidad determinada de atención (Palluel, Nougier, & Olivier, 2010; Remaud et al., 2012).

Por tanto, el control postural está influenciado por la integración coordinada de los movimientos articulares y el control activo de la retroalimentación neural, que implica los reflejos espinales y los circuitos espinal-raquídeos (Suzuki, Morimoto, Kiyono, Morasso, & Nomura, 2016). De hecho, la coordinación de múltiples articulaciones al mantenerse de pie y quieto, puede considerarse como una extensión natural de las

respuestas adaptativas a los estímulos del entorno (Horak & Nashner, 1986). A través de la actividad coordinada de las cadenas musculares el organismo realiza los ajustes posturales necesarios. Horak (2006) considera que el control postural es una habilidad motora compleja, derivada de la interacción de gran variedad de procesos sensoriomotores, y que estos procesos tienen la finalidad de controlar el cuerpo en el espacio.

Para que el organismo sea capaz de producir los ajustes posturales es necesaria la integración de la información proporcionada por los principales sistemas sensoriales: el sistema visual, el vestibular y el propioceptivo, (Rama & Pérez, 2004), para poder regular con precisión las salidas eferentes (Günther, Grimmer, Siebert, & Blickhan, 2009). Por otro lado, diferentes estudios (Allum, Bloem, Carpenter, Hulliger, & Hadders-Algra, 1998; Horak, Henry, & Shumway-Cook, 1997; Shields et al., 2005; Tropp, Ekstrand, & Gillquist, 1984) mencionan que además es necesario el procesamiento central y numerosos procesos neuromusculares (Burton & Davis, 1992; Sanz, De Guzmán, Cerveron, & Baydal, 2004; Shields et al., 2005; Tropp et al., 1984). En una investigación, como la de Hertel, Gay, y Denegar (2002), se añade que el sistema cerebeloso también participa en el control postural, integrando toda la información a través del sistema nervioso central (SNC) (Hertel et al., 2002; Rama & Pérez, 2004).

De esta manera los sistemas originan una representación interna de la orientación del cuerpo en el espacio (Bernard-Demanze, Dumitrescu, Jimeno, Borel, & Lacour, 2009), integrando la información en el SNC, el cual crea una respuesta motora adecuada a las demandas del ambiente (Hirabayashi & Iwasaki, 1995). Además, la implicación de estos sistemas dependerá de las condiciones del entorno, desencadenando unas respuestas de ajuste u otras.

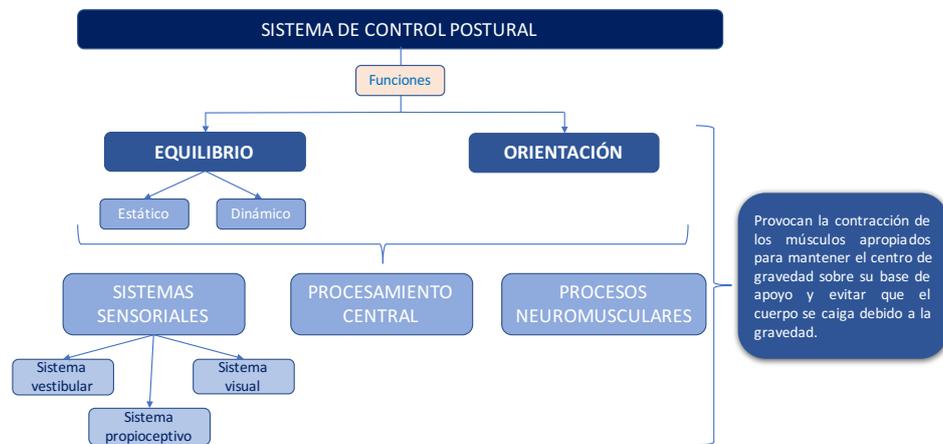


Figura 1: Esquema del sistema de control postural. A partir de Rama y Pérez, (2004).

2.1.2. Mecanismos y bases neurofisiológicas

Al principio, el control postural era entendido como una sucesión de procesos o actividades reflejas (Sherrington, 1910). Pero esta visión con el paso del tiempo y con los hallazgos científicos sobre el equilibrio (análisis cinesiológico, cinemático, electromiografía...) se ha ido modificando. La bibliografía menciona que la habilidad de mantener el control postural depende de una organización compleja, basada en las entradas sensoriales, la geometría del cuerpo (organización segmentaria), la cinética (reacción de la fuerza del suelo), la orientación del cuerpo y las señales de percepción vertical (verticalidad subjetiva) (Masion, 1994).

Los sistemas sensoriales proporcionan información sobre la posición de los segmentos corporales respecto a las otras partes del cuerpo y el espacio (Villarrasa-Sapiña, 2019). Toda la información procedente de las aferencias periféricas (propioceptivas, vestibulares y visuales) es procesada por el SNC, para así emitir una respuesta a través de los efectores musculares (Breinbauer, 2016) (Figura 2). De esta forma, el control postural queda regulado por el SNC (Martín, 2004).



Figura 2: Esquema sobre las bases neurofisiológicas del control postural, modificado de Martín (2004).

Según las bases neurofisiológicas, se puede decir que cuando las diferentes oscilaciones y balanceos del propio cuerpo son reequilibrados por el sistema neuromuscular se consigue devolver el cuerpo a la posición de equilibrio (Gagey & Weber, 2004). A continuación, explicaremos las diferentes bases neurofisiológicas involucradas en el control postural.

2.1.2.1. Sistema nervioso central

De todas las estructuras del SNC que intervienen en la regulación del control postural debemos destacar la función de cinco de ellas: tronco cerebral o encefálico, ganglios de la base o basales, cerebelo, hemisferios cerebrales a nivel del área motora suplementaria y el lóbulo parietal derecho (Figura 3).

Por un lado, tenemos el tronco cerebral o encefálico (bulbo raquídeo, puente y mesencéfalo) y los ganglios de la base o basales (núcleo caudado, putamen, globo pálido, sustancia negra y núcleo subtalámico) encargados de regular los ajustes posturales, además de actuar en el proceso de retroalimentación sobre las acciones ejecutadas (Apolo, 2016; Martín, 2004). En el tronco encefálico se encuentran los núcleos vestibulares que forman conexiones con otras estructuras del SNC. Los ganglios de la base, como principal función tienen el “control subconsciente de los patrones complejos de actividad motora aprendidos, y también participan en el control cognitivo de las secuencias de patrones motores y en la regulación de la intensidad y duración de los movimientos” (Apolo, 2016, p.73).

De la regulación del movimiento a nivel de las sinergias musculares se encarga el cerebelo. De esta estructura cabe destacar que es una de las que más aferencias recibe de los núcleos vestibulares.

Los hemisferios cerebrales a nivel del área motora suplementaria y el lóbulo parietal derecho se ocupan de la representación corporal y de la elaboración de la respuesta motora (Apolo, 2016; Martín, 2004).

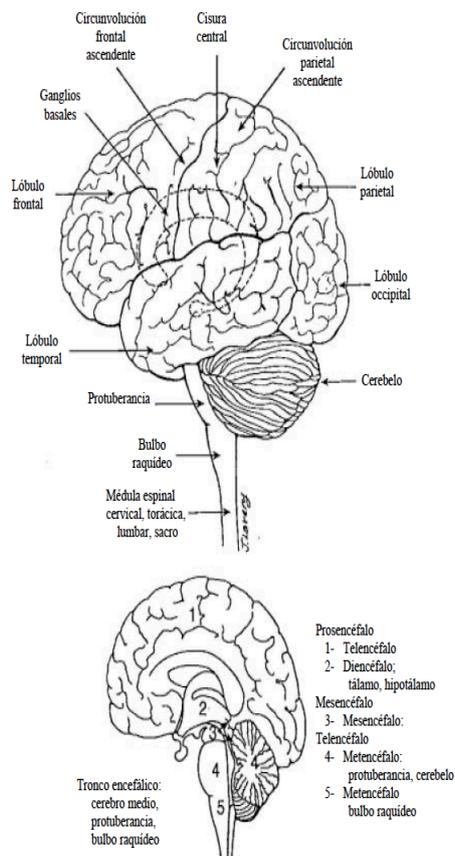


Figura 3: Ilustración del sistema nervioso desde la perspectiva anatómica, extraído de Shumway y Woollacott (1995).

Autores como Apolo (2016) añaden una sexta estructura, la médula espinal, por donde las vías aferentes y eferentes pasan sus órdenes nerviosas. Constituye un soporte de actividades reflejas y actividades motoras simples o complejas pero estereotipadas.

2.1.2.2. Aferencias periféricas

Para un correcto control postural, se necesita de la integración de toda la información posible, tanto interior como exterior. Una vez obtenida toda la información, esta es procesada por la corteza cerebral, los ganglios de la base y el cerebelo, con la finalidad de seleccionar la acción motriz más apropiada a la situación. Por tanto, una vez sabemos cómo funciona el SNC, debemos saber de dónde viene la información que este procesa. Es por ello, que a continuación detallaremos los diferentes tipos de aferencias que aportan información relevante para el control postural.

Por un lado, encontramos las **aferencias periféricas propioceptivas o somatosensoriales**, que se dividen en tres: aferencias musculares, aferencias articulares y aferencias cutáneas. Las aferencias musculares se encargan de informar sobre la activación y relajación de las fibras musculares, estando controladas por los husos musculares y el órgano tendinoso de Golgi. Respecto a los husos musculares, detectan cualquier cambio en la longitud del músculo y la rapidez de este. Encontramos que estos están constituidos por dos tipos de terminaciones; las terminaciones primarias que se conectan a fibras aferentes de tipo Ia y son sensibles a los estiramientos rápidos y de baja amplitud; y las terminaciones secundarias que se conectan con fibras aferentes de tipo II y tienen una mayor sensibilidad a la posición (Martín, 2004; Matthews, 2011). El órgano tendinoso de Golgi, innervado por axones sensoriales Ib, tiene la función de informar al SNC de las posibles fuerzas internas y externas (e.g. la gravedad) que pueden afectar al control postural. Se encuentra entre el tejido muscular y el tendón (Riemann & Lephart, 2002). Respecto a su funcionamiento durante una tensión muscular excesiva (tensión alta en el tendón), para proteger la unión musculo-tendinosa, las fibras Ib envían una señal a la medula espinal para inhibir las motoneuronas alfa del músculo, provocando la relajación del músculo agonista, y estimular la musculatura antagonista.

Las aferencias articulares se basan en unos receptores localizados en la cápsula articular, sensibles a la presión y tensión capsular. Estos receptores son el corpúsculo de Ruffini y el corpúsculo de Pacini (Martín, 2004).

En cuanto a las aferencias cutáneas, tenemos los mecanorreceptores, ubicados en la planta de los pies, sensibles a las vibraciones y a la presión, por lo que tienen un umbral de activación bajo. Al mismo tiempo, tenemos los nociceptores que son sensibles al dolor y con un umbral de estimulación más elevado (Lacour, Dupui, & Montoya, 2003; Martín, 2004).

Las **aferencias vestibulares** las encontramos en el órgano auditivo, el cual está formado por el oído externo, oído medio y el oído interno (Figura 4). En concreto, el sistema vestibular se encuentra en el oído interno, donde hay dos tipos de receptores: los otolitos (sáculo y utrículo) y los canales semicirculares. Respecto a los primeros, son sensibles a las posibles aceleraciones lineales de la cabeza y a las diferentes posiciones de esta (Borel, Lopez, Péruch, & Lacour, 2008; Breinbauer, 2016; Martín, 2004) (e.g. información de las fuerzas verticales). Cuando la información es transmitida a los núcleos vestibulares, aparecen los reflejos vestibulocervicales (RVC) (Breinbauer, 2016) que regulan el tono muscular y los movimientos de la cabeza y extremidades ante un posible desequilibrio (Martín, 2004). En cuanto a los segundos, los canales semicirculares, son sensibles a las rotaciones de la cabeza y las aceleraciones angulares de esta (Borel et al., 2008; Breinbauer, 2016), de forma que cuando la información es transmitida a los núcleos vestibulares, se dan los reflejos vestibulooculares (RVO) (Breinbauer, 2016), que tienen la función de estabilizar el entorno visual.

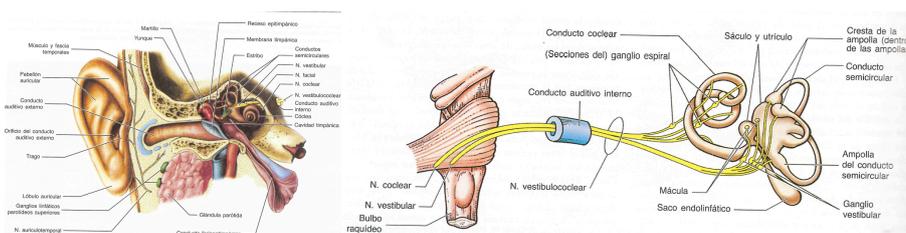


Figura 4: Las porciones del oído, extraído de Moore y Dalley (2009).

Toda la información generada por estas aferencias vestibulares, es transmitida a los núcleos vestibulares del tronco del encéfalo y el cerebelo. Cuando la información es transmitida a los núcleos vestibulares aparecen los RVC y RVO, que pretenden subsanar los movimientos inesperados realizados por la cabeza. Para ello, ajustan la

posición del cuello y de los ojos, manteniendo la mirada de forma fija sobre algún punto (Breinbauer, 2016).

Como se ha ido explicando, el sentido de la vista ayuda al control postural, asegurado en primer lugar por las aferencias propioceptivas y vestibulares. Las **aferencias visuales** que intervienen durante el control postural son la visión central, caracterizada por ser de precisión, cuya información procede de la fovea, y la visión periférica, caracterizada por ser menos precisa, y la información procede del resto de la retina (Duclos et al., 2017). La información vestibular, propioceptiva y visual está integrada en distintos puntos del sistema nervioso central, principalmente en los núcleos vestibulares y sus derivados inmediatos, en el tronco y en el cerebelo vestibular. Es aquí donde se procesa la información para elaborar una respuesta adecuada, poniéndose en marcha los efectores musculares.

2.1.2.3. Efectores musculares

Los **efectores musculares** hacen referencia a la intervención del sistema musculoesquelético. La musculatura axial y periférica intervienen en el control postural y el equilibrio, debido a que se oponen a la fuerza de la gravedad (Apolo, 2016; Martín, 2004). Además, ejercen su acción de una forma pasiva cuando participa su componente viscoelástico (tono muscular) o de forma activa cuando hay un reclutamiento automático (tono postural) (Diener & Dichgans, 1988; Martín, 2004). En cuanto a la musculatura que actúa para mantener el equilibrio, mencionar que a nivel cervical y dorsal encontramos toda la musculatura extensora del raquis, debido a que tiene una actividad antigravitatoria. A nivel lumbar y de la cadera interviene el psoas iliaco, glúteo e isquiotibiales. Mientras que, en las extremidades inferiores, los elementos capsuloligamentosos son los que permiten una posición equilibrada. Además, cuando la rodilla pierde su extensión, se produce una activación del cuádriceps que bloquea la rodilla, permitiendo que el sujeto se mantenga en equilibrio. Por último, en el tobillo, es el tríceps sural el principal encargado de mantener el equilibrio (Martín, 2004).

Además de la activación y participación de la musculatura mencionada, existen una serie de mecanismos del control postural estáticos y dinámicos, de los cuales se

distinguen tres tipos de **mecanismos motores** (Apolo, 2016; Lirola, 2010; Shepard, 2002).

El primero de ellos es el reflejo miotático que participa en la regulación de la estabilidad de las articulaciones que intervienen en el control postural. Se produce cuando hay un estiramiento exógeno del músculo, debido a que esto activa a los husos musculares, de forma que se inhibe la contracción de los músculos antagonistas y se produce la contracción de los agonistas (Apolo, 2016; Lirola, 2010).

En segundo lugar, tenemos la respuesta muscular automática (respuesta de estiramiento funcional) la cual pretende que se recupere el equilibrio después de que una perturbación externa haya desestabilizado el CoG corporal. Estas respuestas son estereotipadas, pero tienen capacidad de adaptación, y suelen ser movimientos coordinados de segmentos corporales como la cadera o el tobillo (Horak, Nashner, & Diener, 1990). Para su puesta en marcha se tienen en cuenta las aferencias propioceptivas (Horak & Nashner, 1986; Nashner, Woollacott, & Tuma, 1979). En función de la intensidad del estímulo propioceptivo desencadenante, la información visual, vestibular y la experiencia del individuo, la respuesta que se lleve a cabo será una u otra (Apolo, 2016; Horak, Diener, & Nashner, 1989; Nashner & Berthoz, 1978). En los músculos del tronco y la pierna, la respuesta que se lleva a cabo está condicionada por las características de la superficie de sustentación y de la experiencia previa del individuo (Jacobson & Shephard, 2014).

Por otro lado, cabe añadir que el sistema del control postural tiene la capacidad de adaptarse, ya que ante un estímulo determinado el cuerpo tiene la habilidad de modificar la respuesta muscular automática emitida a las aferencias musculares (Apolo, 2016; Lirola, 2010; Shepard, 2002).

Por último, está el movimiento voluntario, entendido como un movimiento intencional aprendido (Lirola, 2010), regulado por las áreas corticales sensoriales y motoras (Apolo, 2016). Se cree que en la adquisición y ejecución de los movimientos voluntarios intervienen reflejos específicos, como el reflejo vestibuloespinal (RVE) (Nashner, Shupert, & Horak, 1988) y el reflejo de corrección, relacionados con la función del sistema vestibular (Lirola, 2010; Taguchi & Igarashi, 1994). Durante la

ejecución de un movimiento voluntario, Berthoz, Lacour, Soechting, y Vidal, (1979) citados en Lirola (2010) afirman que:

La información somatosensorial es la más importante en el control postural, pero cuando las tareas se complican en número o velocidad de ejecución, toman mayor protagonismo el sistema vestibular y visual. El sistema visual, aunque importante, no es crítico para el control postural voluntario, salvo que falle el somatosensorial o el vestibular. Una información visual que muestre un entorno visual alterado, discordante a los otros sistemas aferentes, es normalmente suprimida sin mayor trascendencia, en un individuo sin alteraciones del equilibrio. (p.33)

2.1.3. Estrategias posturales

Diferentes estudios (Assaiante, 1998; Assaiante, Mallau, Viel, Jover, & Schmitz, 2005; Olivier, Palluel, Nougier, & Assaiante, 2013), mencionan que existen dos principios para la conservación del equilibrio, en los cuales se fundamentan las estrategias adoptadas por los niños/as y los adultos:

1. El **marco de referencia** sobre el que se basa el control del equilibrio. Si el marco de referencia es la superficie de apoyo en la que el sujeto está de pie, el control del equilibrio se organiza de forma ascendente, es decir, de los pies a la cabeza. En cambio, si el marco de referencia es el vector gravitacional el control del equilibrio se organiza de forma descendente, de la cabeza hasta los pies.
2. Los **grados de libertad de las diferentes articulaciones del cuerpo**. Estas serán controladas simultáneamente en situaciones de equilibrio dinámico, de acuerdo con las demandas que tengan las tareas o la capacidad motora del sujeto. Dentro de este, se diferencian dos tipos de grados de libertad:
 - a. En bloque: permite al sujeto contribuciones visuales y vestibulares más directas y rápidas para equilibrar el cuerpo. Esto es debido a que la cabeza queda estabilizada (Nashner, 1985).

- b. Operación articulada: requiere el control de más grados de libertad para las articulaciones del cuello. También implica tener en cuenta la orientación de la cabeza y el tronco como un medio de interpretar con precisión los mensajes visuales y vestibulares relacionados con el control del equilibrio (Lund & Broberg, 1983).

Una vez conocemos los principios del control postural presentados por Assaiante (1998) y Assaiante et al., (2005), cabe mencionar que cuando existen situaciones en las que se dan movimientos que provocan un desplazamiento del CoG, actúan una serie de ajustes y estrategias posturales con la finalidad de compensar los desplazamientos del CoG y mantener el equilibrio. Estos ajustes posturales pueden ir modificándose gracias al aprendizaje y tienen la capacidad de adaptarse a las situaciones.

Los ajustes posturales se pueden definir como unos mecanismos encargados de controlar las oscilaciones que sufre un sujeto mediante una serie de contracciones musculares coordinadas entre los diferentes músculos que intervienen (Kandel et al., 2013; Winter et al., 2003).

Los ajustes posturales intentan cumplir con las siguientes funciones (Alexander & LaPier, 1998; Villarrasa-Sapiña, 2019):

- Lograr que el centro de masas (CoM) y el centro de presiones (CoP) estén dentro de la BoS.
- Conservar la estabilidad corporal mientras se producen movimientos.
- Fijar tanto la cabeza como el cuerpo ante las posibles fuerzas externas, como la gravedad.

Para poder conseguir esto, se realizan unos ajustes posturales reaccionarios (APR) que ponen en marcha una serie de reflejos que requieren una determinada información sensorial, la cual los activa para mantener una postura de referencia o adaptar la postura al entorno. Según diferentes autores (Amblard, Assaiante, Fabre, Mouchnino, & Massion, 1997; Assaiante & Amblard, 1993; Grossman, Leigh, Bruce, Huebner, & Lanska, 1989; Pérennou, Amblard, Laassel, & Pélissier, 1997), la intervención de los

APR, en primer lugar, producen una estabilización de la cabeza respecto al espacio (vestibulocervicales y cervicocervicales), posteriormente se estabiliza el tronco en relación a la cabeza (vestibuloespinales y cervicoespinales), para finalizar con la estabilización de los miembros respecto al tronco.

Todos estos reflejos, a pesar de ser innatos, pueden ser sometidos voluntariamente a un control superior para ajustarse al patrón intencional del movimiento voluntario, con el fin de adaptarse al contexto funcional (Martín, 2004).

Además de estos reflejos, existen otros dos. Por una parte, los RVO, aparecen cuando se mueve la cabeza y son los encargados de mantener los ojos quietos para que las imágenes se mantengan quietas en la retina. En los reflejos vestibulares, en determinadas situaciones (oscuridad o movimientos muy lentos) los órganos vestibulares no responden muy bien, por lo que necesitan la información del sistema optocinético. De aquí surgen los *reflejos optocinéticos*, encargados de dotar de información al sistema vestibular para que esta pueda llevar a cabo la función de estabilizar los ojos (Martín, 2004).

Por otro lado, tenemos los ajustes posturales anticipatorios (APA) entendidos como aquellos ajustes inconscientes y automáticos (Martín, 2004) que acompañan a los movimientos voluntarios, para reducir las alteraciones posturales. Estas experiencias son las que predicen una oscilación o perturbación y entienden que deben activarse algunos grupos musculares para prevenir o reducir los efectos de dichas oscilaciones y perturbaciones. Estos ajustes tienen la finalidad de prevenir los efectos del movimiento voluntario y/o compensar las alteraciones producidas por los movimientos voluntarios como consecuencia de la contracción de la musculatura que no interviene en el control postural (Bouisset, 1991; Gahery, 1987; Kandel et al., 2013).

No podemos olvidar, que las personas a medida que van vivenciando diferentes situaciones relacionadas con el control postural van aprendiendo. Durante este proceso, la persona va adquiriendo unos patrones y mecanismos con la finalidad de ajustar en cada momento toda su actividad muscular, y así conseguir una estabilidad

corporal (Apolo, 2016). Al ser fruto de un aprendizaje, el control del equilibrio varía ampliamente incluso entre personas sanas (Lirola, 2010).

Respecto a las estrategias de control postural se cree que estas cambian a partir de los 7-8 años (Kirshenbaum, Riach, & Starkes, 2001; Forssberg & Nashner, 1982) produciéndose un refinamiento de la actividad muscular (Williams, Fisher, & Tritschler, 1983) y una mejora del control de la retroalimentación necesaria para mantener el equilibrio [entrada visual (Hatzitaki et al., 2002; Riach & Starkes, 1993), la entrada propioceptiva (Haas, Diener, Rapp, & Dichgans, 1989) y la entrada vestibular (Ibrahim et al., 2013)]. La elección de una determinada **estrategia** depende de la tarea fijada, de las características de la base de apoyo, de la estabilización y de las aferencias periféricas disponibles (Maurer, Mergner, Bolha, & Hlavacka, 2000).

Cabe reseñar que las **estrategias posturales** más conocidas, en bipedestación, son las que se producen en el plano anteroposterior y se clasifican como estrategia de tobillo, de cadera y de suspensión (Cordo & Nashner, 1982; Lacour, 2013). Cuando un sujeto sufre perturbaciones ligeras y lentas, se pone en marcha la *estrategia de tobillo* (Bortolami, DiZio, Rabin, & Lackner, 2003), siendo el propio tobillo el punto de partida. La musculatura que interviene es el tibial anterior, tríceps sural (tobillo), los isquiotibiales (muslo) y los paravertebrales (tronco). Esta estrategia mediante el balanceo del cuerpo tiene la finalidad de producir un cambio del CoG del sujeto, por ello, se dice que el sujeto oscila como un péndulo invertido (Figura 5), siendo el movimiento de las rodillas y cadera el mínimo (Martín, 2004; Nashner & Cordo, 1981). Estudios como el de Amiridis, Hatzitaki, y Arabatzi, (2003) demuestran que los individuos jóvenes, entre 24 y 54 años, durante el equilibrio en estático utilizan las estrategias de tobillo.

En cambio, cuando un sujeto es sometido a perturbaciones rápidas y grandes o la superficie de soporte es pequeña, se activa la *estrategia de cadera* (Figura 5) (Bortolami et al., 2003). Esta suele activarse después de producirse un balanceo hacia atrás, ya que se activa para evitar la caída (Martín, 2004). La musculatura que interviene son los músculos abdominales y el cuádriceps (Nashner & Cordo, 1981).

Mediante esta estrategia lo que se pretende es la reubicación del CoG por flexión o extensión de la cadera.

Por último mencionar la *estrategia de paso*, que se activa cuando las perturbaciones son muy largas y rápidas (Bortolami et al., 2003), o lo suficientemente fuertes para desplazar el CoG fuera de la BoS. Esta estrategia recibe su nombre debido a que se tiende a desplazar un pie hacia delante o flexionar las extremidades inferiores.

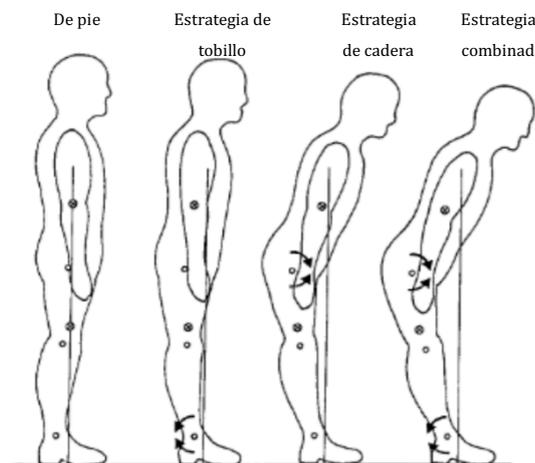


Figura 5: Representación gráfica de la estrategia de tobillo y la estrategia de cadera, extraído de Winter (1995).

2.1.4. Análisis de las variables del control postural

Los diferentes estudios sobre control postural han proporcionado información valiosa sobre el mismo y las adaptaciones que se producen ante diferentes situaciones o condiciones experimentales (Ravaioli, Oie, Kiemel, Chiari, & Jeka, 2005; Woollacott & Shumway-Cook, 2002).

Gracias a ello, podemos decir que el control postural en bipedestación ha ido analizándose de forma cualitativa, al medir los aspectos mecánicos y neurofisiológicos (Paillard & Noé, 2015), pero también de forma cuantitativa, al analizar variables como:

- Base de sustentación: Entendida como el área que surge como consecuencia de unir, de forma imaginaria, los apoyos corporales que se encuentran sobre

una superficie. Cuando se está de pie dicha área se genera entorno a los pies del sujeto, debido a que estos son el punto de apoyo. En la figura 6 podemos ver varios ejemplos en función de cómo se realiza el apoyo (Izquierdo & Redín, 2008).

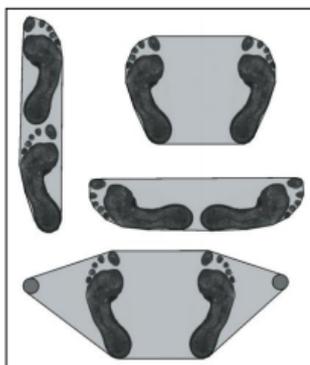


Figura 6: Diferentes tipos de bases de sustentación, en función del tipo de apoyo de los pies, extraída de Izquierdo y Redín (2008).

- Centro de Masas y Centro de Gravedad: Estos dos conceptos son similares, pero no idénticos. El CoG está relacionado con la fuerza de la gravedad y con el peso, mientras que el CoM está relacionado con la masa. Por tanto, el CoM es el punto medio donde se concentra la masa corporal. Debemos saber que la masa de un cuerpo, independientemente de donde se mida, siempre es la misma (Izquierdo & Redín, 2008; Winter, 1995).

Respecto al CoG, se puede definir como un punto sobre el cual actúa todo el peso de un cuerpo, debido a la fuerza de la gravedad (Izquierdo & Redín, 2008) (Figura 7). Otros autores lo definen como “la resultante de todos los centros de gravedad segmentarios con respecto a la gravedad” (Bienfait, 2006, p.204). Por tanto, es un punto de equilibrio, debido a que tenemos la misma cantidad de peso tanto hacia arriba como hacia abajo, y tanto hacia un lado como hacia el otro. Si la proyección del CoG está dentro de la BoS, el cuerpo está en equilibrio. Un aspecto importante que debemos saber sobre el CoG es que puede estar fuera del propio cuerpo (Izquierdo & Redín, 2008).

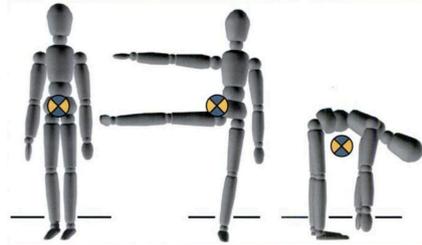


Figura 7: Desplazamiento del centro de gravedad en función de la posición corporal, extraída de Izquierdo y Redín (2008).

- Centro de presiones: Es un punto sobre la superficie del área en contacto con el suelo (superficie de apoyo), donde se concentra el promedio ponderado de todas las fuerzas de reacción vertical que actúan sobre un cuerpo (Winter, 1995). Debemos saber que cuando un sujeto está en bipedestación y su CoP está dentro de la BoS, estará en equilibrio. En cambio, cuando más cerca esté el CoP de los límites de la base de sustentación, mayores serán los desequilibrios a los que se verá sometido el cuerpo (Figura 8).
- Límites de estabilidad: Según Winter (1995) y Duarte y Freitas (2010) este concepto expresa la proporción de la BoS que puede usar un individuo, es decir, que es funcional para permanecer en equilibrio. Esto significa que es un área que determina los límites a los que puede llegar el CoP sin provocar una desestabilización de cuerpo. Por tanto, “se considera que un cuerpo tiene mejor estabilidad cuando el desplazamiento del CoP es mayor y no sobrepasa los límites de estabilidad, mostrando que los límites de dicha estabilidad están más alejados del centro de la BoS” (Villarrasa-Sapiña, 2019, p.52).



Figura 8: Representación gráfica de la relación entre BoS y CoP, extraída de Villarrasa-Sapiña, (2019).

Habitualmente para estudiar el equilibrio, recurrimos al método de análisis de las variaciones o desplazamientos que sufre el CoP en el tiempo, tanto en el eje medio-lateral (ML) como en el antero-posterior (AP). Para ello se emplea una plataforma que capta las fuerzas, es decir, registra los movimientos del CoP. La representación de estos registros es conocida como establograma, y puede descomponerse en dos señales unidireccionales, ML y AP, o en el área de la elipse (EA) (entendida como un área generada por el desplazamiento del CoP en la plataforma durante la realización de una prueba) (Duarte & Freitas, 2010). Los investigadores mediante sus estudios pretenden conocer la dinámica de comportamiento del CoP a lo largo del tiempo (Bravi, Longtin, & Seely, 2011; Stergiou & Decker, 2011), y de esta forma aportar una visión de cómo se lleva a cabo el control postural en una gran variedad de situaciones, tanto en situaciones dinámicas como en estáticas (en este caso incluso en diferentes posiciones) (Blázquez, Anguiano, Saavedra, Lallena, & Carpena, 2009).

Generalmente las investigaciones analizan de forma independiente las variables AP y ML, para ver los patrones de comportamiento de cada dirección por separado (Winter, Prince, Stergiou, & Powell, 1993). En cambio, algunas investigaciones (Roerdink, Hlavackova, & Vuillerme, 2011; Strang, DiDomenico, Berg, & McGorry, 2013) analizan el vector resultante de la distancia recorrida entre las direcciones AP y ML, aunque no es lo más habitual. Para obtener un parámetro general del rendimiento en la tarea de equilibrio suele ser más común calcular algún parámetro relacionado con el área utilizando una forma de círculo o elipse.

Para analizar los movimientos de las dimensiones o variables del control postural se han desarrollado diferentes técnicas de análisis para cuantificar el comportamiento del CoP en los dominios de tiempo y frecuencia (Baratto, Morasso, Re, & Spada, 2002; Prieto, Myklebust, Hoffmann, Lovett, & Myklebust, 1996), es decir, a través de variables temporales y frecuenciales, las cuales son explicadas a continuación.

2.1.4.1. Dominio temporal

De las pruebas de equilibrio se obtienen unas señales que permiten medir el grado o rendimiento en el control postural en el dominio temporal. Esto se realiza, como se ha comentado anteriormente, a través de las coordenadas temporales AP y ML.

Cuando se utiliza una plataforma dinamométrica para evaluar el equilibrio, encontramos una serie de variables basadas en las variaciones de la posición del CoP. Las más empleadas son (Paillard & Noé, 2015):

- *Resultant distance* o Distancia resultante (RD): es la distancia vectorial desde la posición media del CoP para cada par de puntos en los componentes AP y ML. Se expresa en mm.
- Root mean square o raíz cuadrática media (RMS): es la raíz cuadrada media de las series temporales CoP en mm.
- *Mean velocity* o velocidad media del desplazamiento del CoP (MV): La velocidad del CoP se define como la suma del desplazamiento del centro de presiones acumulado dividido por el tiempo total, y sirve para evaluar el control postural del sujeto (Asseman, Caron, & Crémieux, 2004; Caron, Gelat, Rougier, & Blanchi, 2000). Es una medida del coste neuromuscular necesario para mantener el equilibrio. A más MV, mayores son los recursos neurales y musculares necesario para mantener el equilibrio. Se expresa en $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
- *Mean frequency* o frecuencia media del desplazamiento del CoP (MFreq): Frecuencia rotacional media, es la frecuencia de giro, proporcional a la relación entre la velocidad media y la distancia resultante del CoP y se mide en revoluciones por segundo (Hz).
- *Sway area* o balanceo: Calcula el área de balanceo que describe la trayectoria de la CoP por unidad de tiempo (mm^2/s). Cuanto más pequeña es el área, mejor es el rendimiento del control postural (Caron et al., 2000).
- *Ellipse area* o área de la elipse (EA): Área o superficie generada por el desplazamiento del CoP (en la dirección ML y AP), la cual se expresa en mm^2 .

2.1.4.2. Dominio frecuencial

En el dominio frecuencial se pretende conocer la participación preferencial de los sistemas neuronales en la regulación del control postural, mediante el análisis de los desplazamientos del CoP. La energía espectral total está calculada y distribuida en

tres bandas de frecuencia: alta, media y baja (Dichgans, Mauritz, Allum, & Brandt, 1976), las cuales según Paillard et al., (2006) están sometidas a tres tipos de regulación somática diferenciadas.

- Frecuencias Bajas (FB): representan la cantidad de energía espectral acumulada entre 0.15 y 0.5 Hz. Estas frecuencias representan principalmente la regulación o control de los sistemas visual y vestibular (Dichgans et al., 1976; Nagy et al., 2004).
- Frecuencias Medias (FM): representan la cantidad de energía espectral acumulada entre 0.5 y 2 Hz. Estas frecuencias representan la regulación cerebelosa, es decir, del cerebelo (Njiokiktjien, De Rijke, Dieker-Van, & Voorhoeve-Coebergh, 1978).
- Frecuencias Altas (FA): Frecuencias altas que representan la cantidad de energía espectral acumulada entre 2 y 6 Hz. Estas frecuencias más altas corresponden a la regulación propioceptiva (Dietz, Mauritz, & Dichgans, 1980; Gurfinkel, 1973; Nagy et al., 2004).
- Energía total (ET): Integral del espectro de frecuencias.

2.1.5. Factores que afectan al control postural

Cualquier elemento o situación que altere las funciones de los diferentes mecanismos, ajustes y estrategias que intervienen en el control postural va a repercutir en las respuestas de estos. En consecuencia, el control postural se verá afectado, por ello es necesario conocer algunos de los elementos o situaciones que pueden ayudar a dificultar el control postural.

Según Palmieri et al., (2002) los cuatro factores que influyen en el equilibrio son: información sensorial, la coordinación, la gama de movimientos de la articulación y la fuerza muscular. Además, Takken et al., (2003) destacan la fuerza muscular como un aspecto importante de la condición física y la salud física, causando limitaciones funcionales significativas la disminución de la misma. Según Apolo (2016) el equilibrio depende de una serie de factores, como: la amplitud de la BoS, la ubicación del CoG, la estabilidad, la complejidad de la tarea, la posición y movimiento de la

cabeza, la cantidad de información que reciba el organismo y la edad. A continuación, se presentan y describen otros factores.

La **edad**, como menciona Woollacott y Shumway-Cook (2002) es un factor que influye en la capacidad del sujeto para mantener el equilibrio. El control postural no solo se adquiere a medida que se va aumentando la edad, sino que existen otros factores que también ayudan a conseguirlo: la interacción que el sujeto va teniendo con el entorno, es decir, las experiencias motrices (Raudsepp & Pääsuke, 1995; Roncesvalles, Woollacott, & Jensen, 2001).

En cuanto a la variable **peso**, de David y Barbacena (2011) informan que el equilibrio mejora de los 7 a los 14 años, de forma similar en sujetos con peso normal, con sobrepeso u obesos, siendo la edad un factor íntimamente relacionado con el equilibrio, en mayor medida que el peso. Parece ser que los cambios en el somatotipo sí presentan una mayor influencia en el equilibrio durante la primera infancia, ya que estas edades se caracterizan por una redistribución del tejido adiposo subcutáneo, el desarrollo de tejido muscular y el alargamiento de las piernas en relación con la estatura (Faigenbaum et al., 2014; Lee & Lin, 2007). Por tanto, la **obesidad** repercute negativamente en las respuestas posturales. Diferentes estudios (Goulding, Jones, Taylor, Piggot, & Taylor, 2003; McGraw, McClenaghan, Williams, Dickerson, & Ward, 2000) realizados con sujetos de 10 a 21 años, sugieren que el aumento de la obesidad en los niños puede estar acompañado por una mayor prevalencia de un equilibrio funcional reducido. En otros estudios (García-Massó, Marco-Ahulló, Villarrasa-Sapiña, Álvarez-Pitti, & Bermejo, 2019; Villarrasa-Sapiña et al., 2016) se ha demostrado que los adolescentes (12 a 17 años) obesos obtienen valores más altos que los sujetos de peso normal en variables como la velocidad media en direcciones anteroposterior y medio-lateral y el área de elipse.

Por lo que respecta al **sexo**, Mickle et al., (2011) indican que, entre edades de 8 y 12 años, los chicos realizan más balanceos u oscilaciones en comparación con las chicas. En esta línea, Geldhof et al., (2006) encontró un mejor control postural en chicas de 9 y 10 años de edad que en los chicos de su misma edad. Parece ser que a partir de los 10 años las diferencias entre niños y niñas disminuyen. Se cree que posiblemente estas

diferencias sean debidas al desarrollo madurativo. El sistema nervioso, la vista, el sistema vestibular y el sistema propioceptivo se desarrollan antes en las chicas que en los chicos (Mickle et al., 2011). Así, hay indicios de que el proceso de desarrollo y maduración se produce antes en las chicas que en los chicos (Cumberworth, Patel, Rogers, & Kenyon, 2007; Peterson, Christou, & Rosengren, 2006). Las diferencias en el crecimiento según el sexo revelan que las chicas estabilizan los cambios corporales antes que los chicos (Alves et al., 2013). Tan solo mencionar que en cuanto a la maduración y el desarrollo óseo, en relación al sexo, en las chicas este proceso puede ocurrir hasta dos años antes, en comparación con los chicos (Beunen, Malina, Lefevre, Claessens, Renson, Kanden Eynde, et al., 1997), aspecto que según los autores afecta al equilibrio.

Estas diferencias según el sexo, a favor de las chicas, también han sido mostradas por Cratty (1979) en pruebas de equilibrio estático y dinámico donde niñas prepuberales obtuvieron mejores resultados que los niños, sobre todo en equilibrio dinámico. En un estudio (Mickle et al., 2011) que analiza el balanceo en diferentes tipos de test (un primer test con los pies separados, un segundo con los pies juntos y un tercero apoyando la pierna dominante) se indica que las chicas tienen puntuaciones menores, lo que conlleva un mejor resultado. En la línea de lo señalado, Alves et al., (2013) por medio del *Sensory Organization Test* (TOS) encontraron que las chicas presentan una ligera anticipación del inicio de la maduración frente a los chicos. Según estos últimos, dicha maduración también condiciona el equilibrio en la edad adulta. Consideran que esto puede ser debido a que hay una diferencia en la composición corporal, la distribución de la masa y la ubicación del CoP, ofreciéndoles a las mujeres una mayor estabilidad corporal (Figura 9).

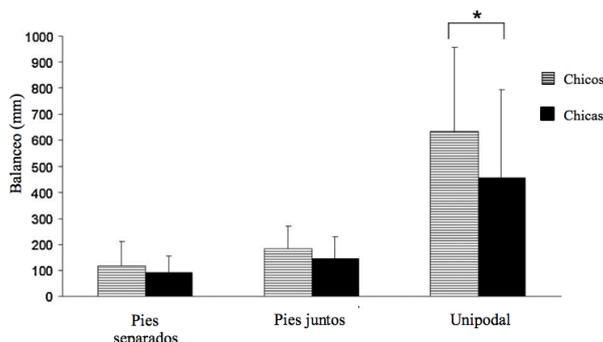


Figura 9: Representación gráfica de las diferencias según el sexo, extraída de Mickle et al., (2011).

Otro factor que junto a la edad también parece condicionar la estabilidad corporal es la posición de los **pies**, que forman la base de apoyo durante las tareas, test o pruebas de equilibrio. Mickle et al., (2011) especulan que las diferencias en el equilibrio entre sexos podrían atribuirse a la estructura del pie. En este sentido, Pfeiffer, Kotz, Ledl, Hauser, y Sluga (2006) indican que los chicos tienen los pies más planos, en comparación a las chicas de la misma edad lo que les lleva a un peor control postural. Este aspecto también ha sido destacado en la edad adulta (Roggia, 2010).

Otro factor o situación puede ser la que mencionan Trew y Everett (2006) en Apolo (2016), donde comenta que:

[...] debido a que la regulación del equilibrio requiere una capacidad de procesamiento de la información importante se produce una demanda intensa sobre los recursos de los centros superiores, lo cual, a su vez, reduce la capacidad para la realización de actividades simultáneas, como por ejemplo actividades de memoria y de comprensión. (p.80)

Por tanto, la capacidad de procesamiento de la información puede ser otro factor a tener en cuenta durante las pruebas de control postural. En este punto profundizaremos más adelante cuando tratemos las tareas duales.

2.1.6. Desarrollo del control postural

Mansilla (2000) nos clasifica las etapas del crecimiento en: prenatal (desde la concepción hasta el nacimiento), niñez dividida en la primera infancia (0 a 5 años) y

segunda infancia (6 a 11 años), adolescencia (12-17 años), juventud (18 a 24 años), adultez dividida en los adultos jóvenes o primarios (25 a 40 años), adultos intermedios (41 a 50 años), adultos mayores o tardíos (51 a 64 años), senectos (65 a 74 años), ancianos (75 a 84 años), longevos (85 a 94 años) y prolongevos (más de 95 años). En nuestro trabajo profundizamos en la adolescencia.

Durante nuestra infancia los reflejos primitivos que poseemos son controlados por la médula espinal y tronco encefálico. Pero a medida que el ser humano va madurando, el mesencéfalo y el tálamo ejercen una mayor influencia sobre los centros inferiores que permiten la aparición de reacciones corregidas. En consecuencia, poco a poco la corteza cerebral comienza a controlar los centros inferiores, aspecto que va a permitir la aparición de reacciones de equilibrio, que definen el equilibrio maduro (Woollacott & Shumway-Cook, 1990).

Debemos saber que, durante la adolescencia, periodo de 12 a 17 años, se producen cambios a nivel cuantitativo, los cuales hacen referencia a cambios morfológicos, como pueden ser el aumento de estatura y peso corporal. Luego encontramos cambios a nivel cualitativo, como la adquisición y mejora de las funciones motoras. Estos cambios influyen en las capacidades motoras (Gallahue & Ozmun, 2000; Ré, 2011; Ruiz, Mata, & Moreno, 2007).

La adolescencia es una etapa donde se manifiestan cambios rápidos en cuanto al tamaño y la composición del cuerpo, con un aumento de la masa muscular, además de una maduración biológica asociada a la producción de las hormonas, testosterona en hombres y estradiol en mujeres (Ré, 2011). Debemos saber que el pico de crecimiento de la altura máxima de un varón es a los 14 años (Ré, 2011), produciéndose seis meses después, aproximadamente, un aumento de la masa muscular (Rogol, Roemmich, & Clark, 2002). En cuanto a las chicas, el pico de crecimiento de la altura máxima ocurre alrededor de los 12 años, y tras este hecho no hay un aumento de la masa muscular debido a que no hay un aumento en la producción de testosterona (Malina et al., 2000; Rogol et al., 2002). En cambio, se produce la menarquía, proceso asociado a una mayor producción de estradiol (hormona femenina). Según diversos autores (Jones,

Hitchen, & Stratton, 2000; Malina et al., 2000) las chicas antes de la menarquia pueden desarrollar una mayor coordinación motora.

Por otro lado, respecto al desarrollo u ontogénesis del control del equilibrio según Assaiante (1998) (Figura 10) existen cuatro periodos:

- Primer periodo desde el nacimiento hasta la posición erguida.
- Segundo periodo desde la adquisición de la postura erguida hasta los 6 años.
- Tercer periodo que se inicia a los 7 años y continúa hasta un límite de edad superior que aún es desconocido.
- Cuarto periodo se alcanza durante la edad adulta.

Teniendo en cuenta este modelo no tenemos certeza de dónde termina el tercer periodo y en consecuencia el comienzo del cuarto. Por lo tanto, existe un gran campo de investigación sin resolver dentro de los periodos de desarrollo del control postural.

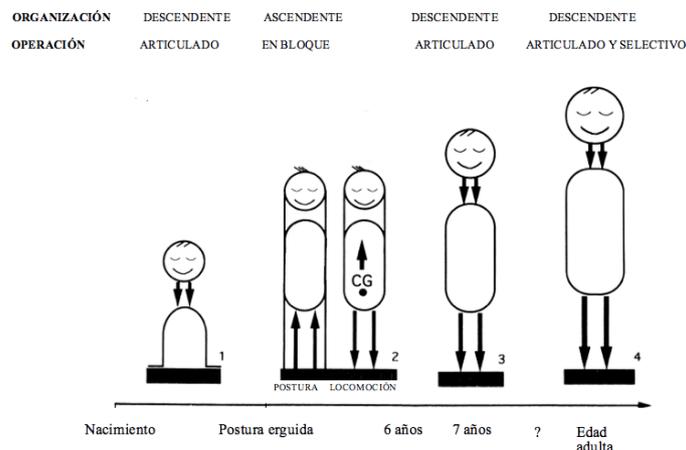


Figura 10: Esquema Ontogenético de la organización de las actividades posturo-cinéticas durante la vida útil, extraída de Assaiante y Amblard (1995).

Algunos autores (Nolan, Grigorenko, & Thorstensson, 2005; Wolff et al., 1998; Woollacott & Shumway-Cook, 1990; Wu, McKay, & Angulo-Barroso, 2009) consideran que entre los 7 y 10 años de edad se produce la maduración de los sistemas de organización del control postural. En esta misma línea Schmid, Conforto, Lopez,

Renzi, y D'Alessio (2005) mencionan que la maduración que se produce entre los 9 y 11 años proporciona una mayor estabilidad, gracias a que durante las oscilaciones se emplean un menor número de ajustes posturales.

A pesar de ello, a nivel general, Rival, Ceyte, y Olivier (2005) e Ibrahim et al., (2013) señalan que los niños y niñas hasta los 10 años son menos eficaces que los adultos en el control del equilibrio, tanto estático como dinámico. Debido a que se obtienen oscilaciones más amplias tanto en la dirección AP como ML (Ferdjallah, Harris, Smith, & Wertsch, 2002; Roncesvalles et al., 2001), lo que sugiere una mayor EA.

Por otro lado, autores como Nolan et al., (2005), que trabajaron con niños de 9 a 16 años observaron que algunos aspectos del control postural siguen desarrollándose pasados los 9-10 años de edad. Se puede decir que, durante la infancia, el desarrollo del SNC y la adquisición de nuevas estrategias posturales mejoran la estabilidad postural (Olivier, Cuisinier, Vaugoyeau, Nougier, & Assaiante, 2010), apareciendo una meseta en esta evolución entre los 9-10 y 11-12 años (Palluel et al., 2010). Es por ello que algunos autores (Hsu, Kuan, & Young, 2009; Shumway-Cook & Woollacott, 1985) comentan que la maduración del sistema sensorial se produce a los 12 años .

En cambio, otros autores (Hirabayashi & Iwasaki, 1995; Nolan et al., 2005; Steindl, Kunz, Schrott-Fischer, & Scholtz, 2006) mencionan que el sistema del control postural llega a alcanzar el nivel madurativo de un adulto sobre los 14-15 años. Por tanto, existe un desarrollo del equilibrio desde una edad temprana (Foudriat, Di Fabio, & Anderson, 1993) y la maduración de los diferentes sistemas (propioceptivo, visual y vestibular) depende de la edad y presenta cambios progresivos hasta la edad de 16 años (Cumberworth et al., 2007).

Debemos recordar que la adolescencia es un período dinámico de desarrollo que implica cambios rápidos en el tamaño, la forma y la composición del cuerpo y afecta tanto al desarrollo (Giedd et al., 1999) como al comportamiento (Buchanan, Eccles, & Becker, 1992). Sin embargo, a pesar de los continuos cambios biológicos, en la adolescencia, no hay mucha evidencia sobre el efecto de la edad en la estabilidad postural (Ruffieux, Keller, Lauber, & Taube, 2015; Saxena, Cinar, Majnemer, & Gagnon, 2017).

Por último, respecto a la preponderancia sensorial Rival et al., (2005) y Ferber-Viart, Ionescu, Morlet, Froehlich, y Dubreuil (2007) observaron que a la edad de 9-11 años los niños/as son visualmente más dependientes que los adultos, aspecto que condiciona el equilibrio cuando la información visual es eliminada (ojos cerrados). En un estudio de Olivier et al., (2013) mencionan que los adolescentes a los 14-15 años aún priorizan las informaciones visuales, desestimando temporalmente las propioceptivas. En cambio, durante la adultez el sistema sensorial que más información aporta para el mantenimiento del equilibrio es el sistema propioceptivo (D'Hondt et al., 2011; Ferber-Viart et al., 2007; Schmid et al., 2005; Shumway-Cook & Woollacott, 1985).

2.2. INFORMACIÓN SENSORIAL EN EL MANTENIMIENTO DEL EQUILIBRIO

Durante el mantenimiento del equilibrio es fundamental la información obtenida sobre la posición del cuerpo en el entorno, la cual depende de cómo el sistema visual, propioceptivo y vestibular se coordinen para captar y analizar (procesar) la información. Aspecto que ha llevado a la creación de diferentes teorías explicativas de la integración de la información.

2.2.1. Integración de la información

Se han utilizado varios modelos conceptuales para caracterizar la integración multisensorial en el control postural y la orientación espacial (Jeka, Oie, & Kiemel, 2000; Mahboobin, Loughlin, Redfern, & Sparto, 2005; Oie, Kiemel, & Jeka, 2002; Peterka & Loughlin, 2004; van der Kooij, Jacobs, Koopman, & van der Helm, 2001). El mantenimiento del equilibrio es la consecuencia de la existencia de un control multisensorial y la puesta en marcha de una serie de procesos centrales de integración y anticipación (Bernard-Demanze et al., 2009; Lacour, 2013; Mallau, Vaugoyeau, & Assaiante, 2010). Estos aspectos son controlados por el SNC, en concreto por las estructuras nerviosas espinales y subcorticales (Lacour & Borel, 1993). El SNC detecta y pondera la información sensorial recibida de los diferentes sistemas, proporcionando un contexto más confiable y útil para permitir la orientación del

cuerpo en el espacio, la estabilización de los diferentes segmentos corporales y la percepción de verticalidad, es decir, mantener el equilibrio.

Cada sistema sensorial tiene un umbral de activación específico a partir del cual se activa y facilita información (Mallau et al., 2010). Según las investigaciones (Lackner & DiZio, 2005; Mickle et al., 2011; Rama & Pérez, 2004; Sanz et al., 2004; Shields et al., 2005), como ya se ha comentado, para mantener el control postural hay una integración de la información procedente de las entradas sensoriales visuales, vestibulares y propioceptivas. Algunos autores (Bernard-Demanze et al., 2009; M. Lacour, 2013; Mergner & Rosemeier, 1998) a este hecho lo definen como un **modelo multisensorial** donde hay una integración de la información procedente de las entradas sensoriales mencionadas.

En cambio, Borel et al., (2008) a estas entradas sensoriales las denomina marcos de referencia, y Lacour (2013) referencias espaciales multisensoriales. Para ambos, existen tres marcos de referencia espaciales: el marco egocéntrico (somestesia), marco gravitatorio (sistema vestibular) y marco aloecéntrico (visión). Cuando la información espacial se codifica con respecto a los objetos externos hablamos del marco de referencia **alocéntrico**, donde las señales visuales nos proporcionan información de los objetos en el espacio. “El papel del marco de referencia aloecéntrico en la percepción se evidencia comúnmente manipulando coordenadas visuales estáticas (i.e., entornos visuales orientados) y señales visuales dinámicas (i.e., estimulación optocinética)” (Borel et al., 2008, p.3). El sistema vestibular, debido a que detecta las aceleraciones lineales y angulares, proporciona un marco de referencia invariable, dado por la dirección de la gravedad, la cual es la base del marco de referencia **geocéntrico** (Borel et al., 2008). Por último, encontramos el marco de referencia **egocéntrico** (somestesia), el cual se sustenta en las señales propioceptivas del propio cuerpo, información procedente de los receptores articulares, musculares, y cutáneos. Dichas señales, dan una información cinestésica sobre la posición de la cabeza, el tronco y las extremidades en el espacio. Como ejemplo, tenemos los receptores cutáneos de la planta del pie (Kavounoudias, Roll, & Roll, 1998, 2001) o las vísceras abdominales gravitacionales (Trousselard, Barraud, Nougier, Raphel, & Cian, 2004;

Vaitl, Mittelstaedt, & Baisch, 1997; Vaitl, Mittelstaedt, Saborowski, Stark, & Baisch, 2002).

Toda la información procedente de estos marcos de referencia es integrada en los núcleos vestibulares y derivados inmediatos, el tronco y cerebelo (Breinbauer, 2016). La fusión de estos 3 marcos espaciales, origina la construcción de un modelo interno con capacidad propia (retroalimentación) para modificar algunas acciones con la finalidad de mantener el equilibrio. Un aspecto clave de este modelo es el peso que se le asigna a los diferentes sistemas sensoriales (Mahboobin et al., 2008).

En definitiva, el control corporal va a depender de cómo estas entradas sensoriales o marcos de referencia espaciales seleccionen la información, de cómo la codifican y de cómo se ponderan (Borel et al., 2008). De esta forma, si un marco de referencia espacial está ausente o modifica su participación mediante alguna interferencia experimental, el sujeto se ve obligado a redefinir la contribución de cada marco de referencia en el proceso de integración del SNC. De ahí la importancia de conocer cómo se ponderan los diferentes marcos de referencia para mantener el control postural y prevenir una posible caída. Tan solo añadir que las contribuciones respectivas de estas entradas sensoriales o marcos de referencia van variando durante la ontogénesis (Assaiante & Amblard, 1995).

2.2.2. Efectos de la restricción de la información sensorial en el equilibrio

El simple hecho de mantener el control postural en estático, puede presentar problemas si se elimina o excluye una entrada sensorial, como las señales visuales, alternando la retroalimentación vestibular, distorsionando la propiocepción o modificando la representación interna de la tarea postural (Young et al., 2012).

Respecto a los tres tipos de entradas sensoriales, bajo condiciones normales, la información propioceptiva es la más importante en el control postural en adultos (Oliva, Bartual Magro, Roquette Gaona, & Bartual Pastor, 2013; Peterka, 2002), procedente de la superficie de apoyo (Oliva et al., 2013). Pero cuando las tareas se complican en número o velocidad de ejecución, toman mayor protagonismo los sistemas vestibular y visual (Apolo, 2016). El control postural según Martín (2004)

está asegurado, en primer lugar, por las aferencias propioceptivas y vestibulares, considerando que el sistema visual ayuda a mejorar al control postural. En cambio, Paillard (2009) menciona que la contribución de las señales visuales es esencial en condiciones estáticas, mientras que la contribución de las entradas de propiocepción es fundamental en condiciones dinámicas.

En cada sistema sensorial existen frecuencias óptimas de activación o estimulación. Estas frecuencias son mayores en el sistema propioceptivo > 1 Hz; que en el sistema visual < 0.1 Hz. (Kavounoudias et al., 2001; Lephart, Pincivero, & Rozzi, 1998; Redfern, Yardley, & Bronstein, 2001). Respecto al sistema vestibular, las frecuencias de estimulación de los canales semicirculares son de 0.5-1 Hz, mientras que el de los otolitos están entre 0.1-0.5 Hz (Apolo, 2016). Como se puede ver la frecuencia de activación tiene valores cercanos, aspecto que puede provocar la superposición, para que esto no ocurra se necesita que la entrada de información tenga un buen procesamiento para garantizar un buen control postural (Gatica R, Elgueta C, & Valdés M, 2008; Redfern, Yardley, et al., 2001).

Como bien nos dice Lacour (2013) cuando un sistema sensorial tiene un fallo, este puede ser sustituido por otra clase de información y una sinergia de recuperación del equilibrio (e.g., estrategia de tobillo).

Habitualmente para estudiar el proceso de reponderación sensorial, se han utilizado condiciones de restricción o perturbación sensorial. Entendemos que existe una **restricción** cuando no se tiene acceso a la información de alguno de los sistemas sensoriales, por ejemplo, el visual al tapar o cerrar los ojos. En cambio, la **perturbación** consiste en hacer que la información que llega de los diferentes sistemas esté alterada, por ejemplo, cuando se producen vibraciones tendinosas (mediante un aparato) en el tendón o vientre muscular durante el control postural.

2.2.3. Cambios en la ponderación sensorial en función de las condiciones

Peterka (2002) nos dice que durante el control postural se tiene en cuenta toda la información sensorial, pero unos sistemas actúan en mayor o menor proporción en función de la cantidad de información que cada uno recibe, definiendo esto como

ponderación sensorial. Algunos autores (Mahboobin et al., 2005; Oie et al., 2002; Peterka & Loughlin, 2004; van der Kooij et al., 2001) han sugerido que esta integración de la información de los sistemas sensoriales parece estar regulada de forma dinámica, con la finalidad de poder adaptarse a las condiciones ambientales y a la información sensorial disponible, proceso llamado "**reponderación sensorial**".

Es importante saber que cada sistema sensorial está especializado en informar de una serie de características específicas sobre el propio cuerpo o el entorno, y que por sí solos, no van a poder indicar el estado global del cuerpo, por lo que para captar una correcta situación se necesita una redundancia sensorial (Duclos et al., 2017). Además, se habla de conflictos sensoriales en el caso de que las fuentes no sean congruentes entre sí (Bonan et al., 2004).

Para Mesure y Lamendin (2001), en Duclos et al., (2017), a esta ponderación la denominan información sensorial de vigilancia, la cual se encarga de “determinar las elecciones estratégicas de la organización de la motricidad reactiva y adaptativa” (p.6). Por tanto, como se ha comentado anteriormente, el peso que se le asigna a cada uno de los sistemas sensoriales es un concepto clave que describe la preponderancia de la información de cada sistema para mantener el equilibrio (Mahboobin et al., 2008).

Todo lo explicado nos hace ser conocedores de que durante la realización de una tarea manteniendo el control postural, la ponderación de los diferentes sistemas sensitivos puede ir variando. Aspecto que puede llevarnos a la siguiente pregunta, ¿cómo pueden modificarse las condiciones para analizar la reponderación de cada uno de los sistemas involucrados en el control postural? Paillard y Noé (2015) nos hablan de la existencia de diferentes métodos para crear una restricción o perturbación en los diferentes sistemas que intervienen en el control postural durante la bipedestación. Estas pueden ser de tres tipos: perturbaciones mecánicas externas, perturbaciones sensoriales o perturbaciones cognitivas (e.g. tareas cognitivas asociadas al mantenimiento del equilibrio postural).

- Respecto a las perturbaciones sensoriales, intervienen el sistema visual, vestibular y propioceptivo. Estas perturbaciones tienen la finalidad de

conocer la eficiencia de uno de los tres sistemas, identificar cuál de ellos predomina más en una situación determinada o conocer la capacidad para compensar o cambiar las diferentes entradas sensoriales (Maitre et al., 2015; Maitre, Jully, Gasnier, & Paillard, 2013). Debemos ser conocedores de que la perturbación en uno de los sistemas sensoriales, o en varios, afecta a la contribución del resto de sistemas sensoriales que intervienen (Figura 11).

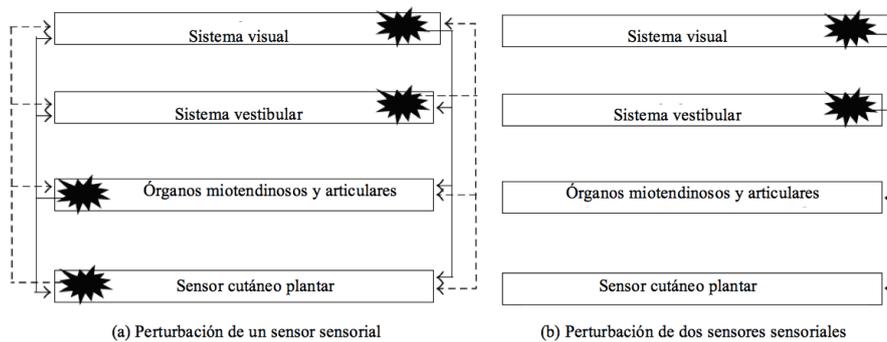


Figura 11: Perturbación sistemas sensoriales. La perturbación de uno (a) o dos (b) sensores conduce a un aumento en la contribución sensorial de otros sensores (no perturbados) en la regulación postural. La perturbación se indica mediante un signo en forma de estrella, mientras que el aumento de la contribución se indica mediante una flecha (Paillard & Noé, 2015, p.8).

- a) En cuanto al sistema visual se pueden producir perturbaciones mediante la reducción del campo visual, alejar los objetos visuales o crear señales visuales erróneas (e.g. técnica de optocinética) (Barela, Barela, Rinaldi, & de Toledo, 2009). En la mayoría de sujetos, la información que aporta este sistema tiene la finalidad de estabilizar el cuerpo. Podemos encontrar sujetos no visuodependientes y visuodependientes. Los primeros, son menos sensibles al feedback visual, es decir, que cuando realizan una misma tarea con los ojos cerrados y con los ojos abiertos, hay poca diferencia en el resultado (Chiari, Bertani, & Cappello, 2000; Duclos et al., 2017). Debido a que las entradas propioceptivas y vestibulares indican que no hay ningún movimiento, estas condiciones pretenden crear conflictos neurosensoriales (Paillard & Noé, 2015). Por ejemplo, cuando la visión normal se ve afectada (e.g. vendar o cerrar los ojos de una persona) el balanceo del cuerpo tiende a aumentar (Lee

& Aronson, 1974). Cuando un sujeto está en la posición bípeda con los ojos cerrados (restricción de la información visual) y sobre una superficie estable, la información sobre la orientación del cuerpo en el espacio la proporciona el sistema propioceptivo.

- b) Para el sistema propioceptivo se utiliza la manipulación de sensores mioelásticos y tendinosos (vibración tendinosa) o la estimulación eléctrica neuromuscular (Paillard & Noé, 2015). La vibración suele aplicarse en el tendón o en el vientre muscular, modulando las aferencias de las fibras de tipo Ia (Roll & Vedel, 1982; Roll, Vedel, & Ribot, 1989). Cuando es aplicada en el tendón hay una modificación de la orientación corporal, debido a que la vibración induce a un estiramiento muscular y crea la ilusión de movimiento del cuerpo (Ceyte et al., 2007). La vibración del tendón es una de las técnicas más utilizadas principalmente para alterar el complejo miotendinoso, lo que resulta en la modificación de la orientación del cuerpo (Ceyte et al., 2007; Thompson, Bélanger, & Fung, 2007). Si queremos provocar una inclinación del cuerpo hacia atrás, debemos colocar la vibración en el tríceps sural (Thompson et al., 2007). En cambio, si se pretende provocar una inclinación hacia delante, debemos aplicar la vibración en el tibial anterior (Polonyova & Hlavacka, 2001). Por último, según la bibliografía consultada (Billot, Handrigan, Simoneau, & Teasdale, 2015; Deshpande & Patla, 2005; Simoneau, Mercier, Blouin, Allard, & Teasdale, 2006) se recomienda que las frecuencias utilizadas estén entre 30 y 100 Hz y con una amplitud de 0.2 a 3 mm.

Por otro lado, a nivel cutáneo tenemos la técnica de hipotermia, que consiste en colocar la planta del pie en agua helada o la técnica de isquemia que bloquea la circulación sanguínea, ambas técnicas pretenden perturbar la actividad de los músculos implicados en el control postural. Una tercera técnica, y de más fácil uso, son las superficies de espuma que provocan alteraciones multidireccionales (Gortmaker, Must, Perrin, Sobol, & Dietz, 1993; Griffiths, Wolke, Page, & Horwood, 2006).

Según Ivanenko, Solopova, y Levik (2000) tanto en los apoyos estables como inestables los músculos de la pierna son importantes para contrarrestar el peso corporal. Pero cuando hay una inestabilidad de la superficie de apoyo (perturbación de la información propioceptiva), el SNC disminuye la dependencia de la información propioceptiva de la musculatura de la pierna. Por tanto, el sistema visual y vestibular toman mayor importancia. A esta información cabe añadir que según Kluzik, Horak, y Peterka (2005) el sistema propioceptivo no es capaz de diferenciar entre una inclinación del propio cuerpo y una inclinación de la superficie de apoyo. Por lo que, en estas dos situaciones comentadas, se requiere una mayor información del sistema visual (para indicar la orientación con respecto a la superficie de apoyo o a los elementos verticales del entorno) y vestibular (para indicar las variaciones de posicionamiento de la cabeza) (Duclos et al., 2017).

Cuando un sujeto está en la posición bípeda con los ojos cerrados (restricción de la información visual) y sobre una plataforma que se mueve (perturbación de la información propioceptiva), el sistema sensorial primario de información pasa a ser el sistema vestibular.

- c) En el sistema vestibular la técnica empleada es la estimulación vestibular galvánica, la cual provoca una modificación de la postura, debido a que esta técnica induce a tener ilusiones de movimiento corporal (Curthoys, 2010; Fitzpatrick & Day, 2004; Wardman, Taylor, & Fitzpatrick, 2003). Mediante esta técnica se producen inclinaciones tanto en el eje AP como en el ML (Cauquil, Gervet, & Ouaknine, 1998; Day, Séverac Cauquil, Bartolomei, Pastor, & Lyon, 1997). Otra técnica o condición ambiental que podría afectar a la estabilidad postural es el sonido, (e.g. ruido blanco a 90 dB, a través de auriculares). Hay estudios que explican cómo el sonido influye en el sistema vestibular debido a la relación que tiene con los órganos de Corti en el oído interno y el nervio craneal ocho, que es responsable de mantener el equilibrio postural y transmitir los impulsos neuronales relacionados con la audición (Bordoni, Sugumar, & Daly, 2019). Además, dado que los órganos terminales vestibulares comparten el mismo ambiente fluido con el órgano terminal

auditivo, también se ven afectados por intensas ondas acústicas. De esta manera, en un estudio de Golz et al., (2001), se observó cómo los sonidos intensos causaban alteraciones en el sistema vestibular. Park, Lee, Lockhart y Kim (2011), aplicaron diferentes intensidades de sonido para ver cómo esto afectaba al sistema vestibular. Sus resultados mostraron cómo el control postural en la dirección AP era peor a medida que aumentaba el sonido. Tomando estos estudios como referencia, en los que se menciona que las ondas acústicas impactan en los órganos vestibulares del oído interno y el órgano de Corti, el sonido debería afectar la estabilidad postural (Alessandrini, D’Erme, Bruno, Napolitano, & Magrini, 2003; Deggouj, Castelein, & Gersdorff, 2008; Giacomini, Alessandrini, & Magrini, 2002; Mainenti, De Oliveira, De Melo Tavares De Lima, & Nadal, 2007). Recordar que, para no dañar a los sujetos con un sonido demasiado fuerte, se debe seleccionar el número máximo de dB (82-100 dB), recomendado en niños por la World Health Organization para un momento de exposición (Roberts & Neitzel, 2018).

De modo que la contribución de los sistemas sensoriales para mantener la estabilidad del cuerpo varía con las condiciones ambientales. Todas estas condiciones sensoriales se pueden modificar y combinar en diferentes situaciones, para así poder estudiar cómo responden los sistemas de los sujetos ante dichas modificaciones. Para estudiar la contribución de los diferentes sistemas sensoriales en la regulación postural, el experimentador a menudo utiliza manipulaciones sensoriales de un sistema (manipulación simple) o de dos / tres sistemas sensoriales (manipulación combinada) (Paillard & Noé, 2015). La perturbación en uno o varios sistemas sensoriales afecta en la contribución de otros sistemas sensoriales.

- En segundo lugar, encontramos las perturbaciones mecánicas, que pretenden provocar desplazamientos del CoM (e.g. percusión o empuje), modificar el estado de la base de soporte (e.g. plataformas móviles) o bloquear o restringir los movimientos articulares (e.g. dispositivos ortopédicos). Estos aspectos

provocarán una serie de cambios en la estrategia postural y una reorganización en la coordinación muscular (Noé, Amarantini, & Paillard, 2009). Como se ha comentado en los ejemplos anteriores, cuando un sujeto está en la posición bípeda con los ojos cerrados (restricción sensorial) en una superficie estable, la información sobre la orientación del cuerpo en el espacio la proporciona el sistema propioceptivo, pero si la plataforma se mueve (perturbación de la información propioceptiva) la información sobre la orientación del cuerpo en el espacio la proporciona el sistema vestibular. Esta misma situación se da cuando se aplica una vibración en el tendón de Aquiles (perturbación mecánica).

- En último lugar, están las perturbaciones cognitivas las cuales están relacionadas con los recursos atencionales y el paradigma de las tareas duales, donde se realizan dos tareas al mismo tiempo (e.g. tareas de control postural y tareas cognitivas como una tarea de memoria o de cálculo), con la finalidad de conocer las interferencias que pueden darse entre los procesos atencionales y el control postural (Paillard & Noé, 2015). Todos estos aspectos van a ser tratados de forma más amplia en el siguiente punto.

2.3. TAREAS DUALES

En todo acto motor existe una base de equilibrio o estabilidad. Una adecuada estabilidad postural no solo permite que podamos mantener una posición, además nos permite responder a posibles perturbaciones de nuestro entorno, por ejemplo, para evitar caídas, por lo que es un requisito indispensable en la mayoría de las actividades de la vida diaria. Además, durante las diferentes situaciones cotidianas que vivimos, estar en equilibrio generalmente se combina con tareas cognitivas como conversar, caminar y hablar, escuchar música... En estas situaciones, donde al mismo tiempo la persona está realizando dos tareas, se produce un aumento tanto en la contribución de las estructuras corticales involucradas en la atención motora, como en la representación interna del cuerpo (Rushworth, Johansen-Berg, Göbel, & Devlin, 2003). En consecuencia, para que la tarea postural y cognitiva se lleve a cabo de forma eficiente, los recursos atencionales deben dividirse (Bernard-Demanze et al., 2009).

Para el dominio de la locomoción y el control postural, los científicos o investigadores consideran que, en la vida cotidiana, es de vital importancia la capacidad de realizar dos tareas al mismo tiempo. Debido a que el control postural suele ir acompañado de tareas secundarias, en el campo científico ha habido un incremento del interés, tanto por el movimiento humano, como en la capacidad que tiene una persona para realizar de forma simultánea dos tareas, esto es denominado como: rendimiento de DT (Lee, Sullivan, & Schneiders, 2013).

En el estudio de la influencia de las demandas cognitivas y atencionales de una tarea sobre el control postural y el equilibrio, se utiliza un método basado en el paradigma de DT (Abernethy, 1988; Al-Yahya et al., 2011; Lee et al., 2013; McCulloch, 2007; Wickens, Hollands, Banbury, & Parasuraman, 2015; Wright & Kemp, 1992). Este paradigma de DT tiene claras influencias de la psicología experimental (Lee et al., 2013; Pashler, 1994; Welford, 1952). McCulloch (2007) menciona en su investigación, que mediante este paradigma experimental podemos probar la teoría de la atención. Otros autores (Fraizer & Mitra, 2008; Schaefer, 2014) cuando hablan del paradigma de DT, se apoyan en la posibilidad de que los recursos de procesamiento del SNC sean limitados, y al realizar una DT pueden haber interferencias entre sí, si en ambas se da el uso de recursos comunes de estructuras especializadas similares.

La metodología de este paradigma se basa en la utilización de las DT, en las cuales según Wright y Kemp (1992) el sujeto realiza una tarea que es evaluada en términos de su demanda de atención, la cual denomina tarea principal. Al mismo tiempo se realiza una tarea alternativa, denominada como tarea secundaria. Para McCulloch (2007), Lee et al., 2013 y Ebersbach, Dimitrijevic, y Poewe (1995), este enfoque experimental se basa en examinar dos tareas que se realizan de forma simultánea, designando a una de ellas como la tarea principal.

Para nosotros el paradigma de DT consiste en realizar una tarea motora (control postural) y una tarea cognitiva de forma simultánea, donde se pretende evaluar, estudiar y conocer la capacidad de realizar dichas tareas a la vez, aportando información sobre el coste y rendimiento en la realización de estas tareas. Esto, entre otras cosas, puede ayudar a conocer cómo son los procesos de aprendizaje de los niños

(Reilly et al., 2008) de forma que los diferentes aspectos investigados sirvan para seleccionar los parámetros óptimos de las tareas motoras y cognitivas para así maximizar la eficacia del proceso educativo (Remaud et al., 2012). Para evaluar esta relación, los investigadores han utilizado diferentes combinaciones de tareas cognitivas y condiciones en la tarea motora.

Por un lado, los investigadores en sus estudios han utilizado tareas cognitivas de diferente complejidad, algunas relacionadas con la memoria de trabajo (WMT) (Huxhold, Li, Schmiedek, & Lindenberger, 2006; Little & Woollacott, 2015; Mehdizadeh et al., 2015), o relacionadas con el tiempo de reacción (Vuilleume, Nougier, & Teasdale, 2000; Weaver, Janzen, Adkin, & Tokuno, 2012; Lajoie, Teasdale, Bard, & Fleury, 1993), entre otras. En una investigación de Al-Yahya et al., (2011) se presenta una clasificación de las tareas cognitivas en función de las demandas y procesos mentales que el sujeto necesita para ejecutar las tareas. Esta clasificación distingue cinco tipos, donde cada uno de ellos tiene unas exigencias cognitivas y conductuales diferentes:

- Tareas de tiempo de reacción, las cuales presentan un estímulo sensorial (visual o auditivo) y pretenden medir el tiempo transcurrido desde que se presenta el estímulo hasta la respuesta conductual (Strauss, Sherman, & Spreen, 2006; Wright & Kemp, 1992). Mediante estas tareas se pretende medir la velocidad de procesamiento (Lezak, Howieson, Loring, & Fischer, 2004).
- Las tareas de discriminación y toma de decisiones, que demandan una atención selectiva sobre un estímulo o característica específica y se responde en consecuencia a ello. Mediante estas tareas se pretende medir la inhibición de la atención y la respuesta dada. Un ejemplo de este tipo de tarea sería el test Stroop (MacLeod, 1991).
- Con las tareas de seguimiento mental se pretende examinar la atención sostenida y la velocidad de procesamiento de la información (Lezak et al., 2004; Williams et al., 1996). Lezak et al., (2004) las definen como, aquellas

tareas en las cuales se necesita conservar la información en la mente mientras se realiza un proceso mental.

- Tareas de memoria de trabajo: hacen referencia a las tareas que requieren mantener la información en la mente para la posterior manipulación y procesamiento (Al-Yahya et al., 2011).
- Las tareas de fluidez verbal, en las cuales se requiere la elaboración de palabras de forma espontánea bajo condiciones (previamente especificadas) de búsqueda. Este tipo de tareas se utilizan para evaluar la función ejecutiva (Lezak et al., 2004; Strauss et al., 2006).

En cuanto a la dificultad de las tareas motoras, en este caso las tareas posturales, los investigadores han realizado diferentes estudios alterando la base de apoyo (Reilly et al., 2008) o variando las entradas sensoriales (Stins, Ledebt, Emck, van Dokkum, & Beek, 2009). Respecto al concepto de **tarea motriz**, para su definición, se cita a varios autores característicos de este ámbito, como por ejemplo a Hackman (1969) en Pérez (1997):

Una tarea motriz es aquello que puede ser designado para realizar por una persona, o grupo de personas, por un agente exterior, o que puede ser autogenerado. Consiste en un complejo conjunto de estímulos y de instrucciones que especifican lo que se debe hacer según las informaciones. Las mismas indican que operaciones deben realizar por los sujetos para conseguir los objetivos. (p.110)

En la misma línea que Hackman (1969) la definición de Famose (1983) en Pérez, (1997), considera una tarea como una “actividad determinada y obligatoria que un sujeto recibe de otro, o se autoimpone, para conseguir un objetivo” (p.110). Bañuelos (1986) en su definición habla de una situación específica donde se desarrolla, se pone de manifiesto o debe llevarse a cabo una determinada habilidad motora o una habilidad perceptiva.

Como se puede apreciar, algunas de estas definiciones son más generales para abarcar el concepto de tarea en varios ámbitos mientras que otras son más concretas del campo de la motricidad. Además, tanto Bañuelos (1986) como Gómez (1986) consideran que

la tarea motriz es multidimensional, debido a que permite cumplimentar varios objetivos y desarrollar distintos contenidos de las áreas psicomotoras, socioafectivas y cognitivas de forma simultánea.

Parlebas (1981) añade que en una tarea motora hay una organización de las condiciones materiales, se define el objetivo y que para su consecución se deben emplear conductas motoras.

A partir de estas definiciones, Pérez (1997) menciona que las tareas motrices poseen unas características:

- **Carácter instructivo:** se informa de lo que se debe realizar y en qué condiciones.
- **Carácter finalista:** se programan y practican para conseguir un objetivo concreto.
- **Carácter obligatorio:** son diseñadas y propuestas por un experto para que se practiquen.
- **Carácter organizado:** suponen una actuación concreta, en un marco espaciotemporal determinado y con una disposición material precisa y previamente pensada.

En nuestra opinión, la tarea motriz podría ser entendida como una propuesta, de uno o varios agentes externos, con carácter instructivo (debido a la información que nos facilita) y organizativo, donde se persigue la finalidad de conseguir un objetivo mediante la puesta en marcha de conductas motoras y contenidos de diferentes ámbitos, como el psicomotor, socioafectivo o cognitivo de forma simultánea.

A modo de resumen, cabe destacar que en estudios de este tipo el paradigma de DT puede utilizarse con dos finalidades. Por un lado, para examinar los cambios en el rendimiento de los elementos concurrentes de una DT (Rougier & Bonnet, 2016; Simoneau, Billot, Martin, Perennou, & Van Hoecke, 2008). Por otro lado, para conocer las demandas atencionales en particular y cognitivas en general que se requieren en el control postural (Ebersbach et al., 1995; Polskaia & Lajoie, 2016).

2.3.1. Funciones cognitivas

Las personas diariamente vivenciamos un gran número de situaciones en las cuales estamos realizando dos tareas de forma simultánea, durante las cuales se llevan a cabo un gran número de procesos cognitivos. Antes de definir qué son los procesos cognitivos, debemos saber qué es la **cognición**, según Neisser (1976) en Bermejo (2015) es un “conjunto de procesos mediante los cuales la información sensorial entrante (input) es transformada, reducida, elaborada, almacenada, recuperada y utilizada” (p.14).

A la cognición concierne el funcionamiento de la mente, donde se llevan a cabo los procesos cognitivos, entendidos según Banyard (1995) como aquellas estructuras o mecanismos mentales que de normal un sujeto pone en marcha cuando observa, lee, escucha, etc. Sin embargo, existe cierta controversia a la hora de categorizar los diferentes procesos cognitivos. Para Fuenmayor y Villasmil (2008) son la percepción, la atención, el pensamiento, la memoria y el lenguaje.

En cambio, Avalos y Velasquez (2000) establecen que existen unos procesos cognitivos básicos, entendidos como procesos que pueden producirse sin la intervención consciente del sujeto y tienen una raíz biológica, como por ejemplo la percepción, la atención y la memoria. Añade que ello no implica que posteriormente, el sujeto no pueda tener un control sobre la ejecución de estos (Avalos & Velasquez, 2000; Fuenmayor & Villasmil, 2008). En este sistema cognitivo o sistema general de procesamiento de la información, Gardner (2005), es partidario de que los procesos cognitivos básicos (atención, memoria y aprendizaje) se asientan sobre un pilar fundamental, la percepción.

Para Sternberg y Sternberg (2016) los procesos cognitivos incluyen funciones tales como el aprendizaje, el razonamiento, la atención, la memoria, la resolución de problemas, la toma de decisiones y el procesamiento del lenguaje.

Lo que debe quedar claro es que, en los procesos cognitivos, hay una activación de una serie de mecanismos mentales que reciben una serie de información sobre la cual fijan más su atención en unos aspectos u otros. A continuación, esta información es

representada mediante el pensamiento y relacionada con la información guardada anteriormente en la memoria. A partir de ahí se interpreta la información y se elabora una respuesta (Fuenmayor & Villasmil, 2008). El desarrollo de estas funciones y de los procesos cognitivos es un proceso que ocurre a medida que el niño/a va creciendo (Diamond, 2002).

Por lo que respecta al control de los procesos cognitivos, son los lóbulos frontales y sus regiones prefrontales las que se encargan de controlar y poner en marcha diversas funciones cognitivas a través de un conjunto de funciones de autorregulación, denominadas funciones ejecutivas (Tirapu-Ustárrroz, García-Molina, Luna-Lario, Roig-Rovira, & Pelegrín-Valero, 2008; Tirapu-Ustárrroz & Muñoz-Céspedes, 2005). Abarcan una serie de procesos cognitivos, entre los que destacan la anticipación, elección de objetivos, planificación, selección de la conducta, autorregulación, autocontrol y uso de retroalimentación (feedback) (Sholberg, 1989).

Respecto al funcionamiento de todas estas funciones cognitivas, debemos entender que no lo hacen de forma aislada, sino que cada una de ellas está controlada por un determinado sistema o área especializada y reguladas por diferentes estructuras neuroanatómicas (Portellano, 2005). Para Portellano (2005), las funciones cognitivas son un total de nueve: la memoria, atención, percepción visual, orientación, el lenguaje, razonamiento, control motor, esquema corporal y la función ejecutiva (Figura 12).

En la elaboración de este proyecto, se habla de algunas de estas funciones cognitivas, seleccionando aquellas que tienen mayor relación con el control postural. A continuación, se mencionan las principales funciones cognitivas.



Figura 12: Localización de las funciones cognitivas en las áreas del cerebro, a partir de Portellano (2005) extraído de Bermejo (2015).

2.3.1.1. Atención

El ser humano puede observar o escuchar más de una cosa a la vez, pero sobre una de ellas se centrará en mayor medida. Es por ello que, a medida que se va obteniendo experiencia, se adquieren unas destrezas o habilidades de forma automática, que permiten realizar tareas sin prestar mucha atención. Esto es conocido como la *teoría de la capacidad*, la cual se entiende como la cantidad de atención que una persona puede prestar, en un momento determinado, hacia un aspecto concreto y como dicha atención puede cambiar, dependiendo de la estimulación o motivación de dicho sujeto (Banyard, 1995). Lo que este autor pretende explicar, es que las personas tienen la capacidad de seleccionar e interpretar la información que están constantemente recibiendo, es decir, se tiene una atención selectiva.

Vinculando la teoría de la capacidad (Banyard, 1995) con algunas definiciones de atención podemos decir que los diferentes autores han considerado que la atención está formada por diferentes procesos o fases. Parasuraman y Davies (1984) mencionan que la atención está constituida por procesos selectivos, intensivos, de alerta y de mantenimiento. En cambio, Heijden (2003) diferencia entre atención o selección

perceptual, expectativa e intención. LaBerge (1995) distingue varias manifestaciones de la atención, las cuales son la selección, preparación y mantenimiento de la misma. Desde el ámbito de la psicología cognitiva a partir de las aportaciones anteriores, autores como Posner y Petersen (1990) entienden que la atención es un mecanismo encargado de seleccionar la información conveniente, con capacidad para asignar y orientar los recursos cognitivos.

A esta definición debemos añadir que Posner y Petersen (1990) mencionan que el sistema de atención del cerebro está anatómicamente separado de los sistemas de procesamiento de datos, que la atención se lleva a cabo mediante una red de áreas anatómicas y que estas áreas, involucradas en la atención, llevan a cabo diferentes funciones. De estos tres hallazgos o principios que presentan estos autores, surge su *teoría integradora* (Posner & Dehaene, 1994; Posner & Petersen, 1990; Posner & Rothbart, 1992). Esta defiende que la atención es un sistema modular que está constituida por tres subsistemas o redes atencionales, los cuales son: la red atencional posterior o de orientación, la red de vigilancia o alerta y la red anterior o de control ejecutivo. Estas tres redes están separadas, cada una de ellas se encarga de unas funciones atencionales distintas y están asociadas a unas áreas cerebrales, pero no se debe olvidar que las tres áreas están relacionadas entre sí. Por tanto, las tres redes son sistemas diferentes a nivel anatómico y funcional, pero están interconectadas entre sí.

Respecto a cada una de las redes o subsistemas que conforman la atención, según Posner y Petersen (1990) debemos saber que la red atencional posterior tiene la función de orientar a la propia atención hacia el lugar donde aparezcan los posibles estímulos objetivo. Respecto a la red de vigilancia o alerta se ocupa de mantener un estado preparatorio o de “arousal” general, necesario para la detección rápida del estímulo esperado. Por último, la red atencional anterior o de control ejecutivo, tiene la función de ejercer un control voluntario en aquellas situaciones que impliquen la generación de una respuesta. Por tanto, habrá una planificación o desarrollo de estrategias para llevar a cabo la respuesta. En la teoría de Posner y Petersen (1990), a la red de control ejecutivo se le otorga un papel especial, debido a que esta red tiene

la capacidad de modular a las otras dos redes, mediante el desarrollo de estrategias, cuando las condiciones de la tarea así lo requieran (Funes & Lupiáñez, 2003).

Según Rebollo y Montiel (2006) se considera que la atención tiene los siguientes fines:

- 1) La percepción precisa de los objetos o acciones que se ejecutan en el entorno en un determinado momento.
- 2) Aumentar la velocidad de las percepciones y acciones para preparar el sistema que las procesa.
- 3) Sustener la atención en la percepción o acción todo el tiempo que sea necesario.

Cabe añadir que el hecho de mantener la postura erguida es una acción que realizamos de forma diaria, que se lleva a cabo de forma eficiente y sobre la cual no se requiere un alto control atencional explícito, pero sí que se requieren recursos atencionales (Fraizer & Mitra, 2008). Además, durante el control postural se suele realizar otra tarea de forma simultánea. Por tanto, para conocer las demandas atencionales que están involucradas en el control postural, las investigaciones se han apoyado en el paradigma de DT (Fraizer & Mitra, 2008; Vuillerme, Forestier, & Nougier, 2002; Weerdesteyn, Schillings, Galen, & Duysens, 2003).

En este sentido, Huxhold et al., (2006) en su investigación mencionan que durante el control postural la atención puede ser necesaria para las posibles perturbaciones que sufra el sistema o bien a la hora de realizar la integración sensorial y la selección entre información sensorial conflictiva (Redfern, Jennings, Martin, & Furman, 2001; Shumway-Cook & Woollacott, 2000; Teasdale & Simoneau, 2001). Por tanto, los procesos atencionales durante la realización de múltiples tareas al mismo tiempo, una DT, pueden influenciar sobre los procesos cognitivos o sobre el control postural, dando a conocer que hay unas limitaciones atencionales (Woollacott, 2000).

La realización de una DT muestra los cambios que sufre la atención durante la ejecución de ambas tareas, es decir, ilustra cómo se aplica la asignación de la atención (atención dividida) en las tareas cognitivas y motoras. Por lo tanto, cuando un sujeto debe mantener el control postural mientras realiza una tarea cognitiva concurrente, la

atención se divide entre las tareas sensoriomotoras y las cognitivas (Huxhold et al., 2006).

2.3.1.2. Memoria trabajo

Podemos definir el concepto de la memoria como “la capacidad de retener y evocar información de naturaleza perceptual o conceptual” (Avalos & Velasquez, 2000, p.31).

Cuando se menciona la capacidad de retención, se hace referencia a que la memoria actúa como un almacén donde se guardan las diferentes experiencias y conocimientos adquiridos. Aspectos decisivos en el proceso de identificación, reconocimiento, interpretación, elaboración y comprensión de los diferentes estímulos o elementos informativos que un sujeto recibe y utiliza en la planificación de la acción (Ruíz-Vargas, 2002). Además, en la memoria también se almacenan las interpretaciones que se hacen sobre todo lo mencionado (Fuenmayor & Villasmil, 2008).

El proceso de memorización, se inicia con la codificación de la información, la cual se lleva a cabo una vez nuestros sentidos captan los estímulos y se obtiene una representación mental (Banyard, 1995). Posteriormente, esta información queda almacenada durante un periodo de tiempo determinado (corto o medio plazo) para poder recuperarla en ocasiones posteriores.

Respecto a la organización de la información, son varios los investigadores que podemos destacar. Por un lado, tenemos los que consideran que la memoria está formada por diferentes compartimentos (Atkinson & Shiffrin, 1968), y por el otro lado están los que la consideran en términos de niveles de procesamiento (Craik & Lockhart, 1972).

Para el tratamiento de la memoria, nos quedaremos con aquellos autores que consideran que está formada por diferentes compartimentos (Atkinson & Shiffrin, 1968, 1971; Avalos & Velasquez, 2000; Mayer, 1985, 2002; Schmidt, Lee, Winstein, Wulf, & Zelaznik, 2018). Todos ellos, mencionan que los tres compartimentos o estructuras que constituyen la memoria son:

- Memoria sensorial: se refiere a toda información captada mediante los receptores sensoriales (inputs sensoriales: visuales, auditivos...). Por tanto, hay una relación entre los órganos sensitivos, la llegada de información al cerebro y el almacenamiento en esta memoria. Dicha información es ilimitada, su entrada es muy rápida, su duración es muy breve y la pérdida se produce por efecto del paso del tiempo (Atkinson & Shiffrin, 1968; Mayer, 2002). Se puede decir que antes de que ocurra una nueva captación de información la anterior ya ha desaparecido, y el recuerdo de esta depende de la velocidad a la que el cerebro procesa esa información (Fuenmayor & Villasmil, 2008).
- Memoria a corto plazo: a partir de las aportaciones de Fuenmayor y Villasmil, (2008) podemos mencionar que en esta memoria se da el proceso de integración entre la información recibida del exterior y la de la memoria a largo plazo. Gracias a esta integración de la información puede haber un reconocimiento e identificación que permite darle sentido a la información. La memoria a corto plazo es extremadamente limitada, su duración es temporal y la pérdida es debida al desplazamiento de la nueva información (Atkinson & Shiffrin, 1968; Mayer, 2002). Cabe añadir que dentro de la memoria a corto plazo encontramos una parte que se conoce como la “memoria de trabajo” (Atkinson & Shiffrin, 1971; Baddeley, 1992; Baddeley & Sala, 1996; Mayer, 2002) utilizada para desarrollar actividades mentales (cálculo mental) (Mayer, 2002), para retener y repetir dígitos y sílabas (Fuenmayor & Villasmil, 2008) y para la comprensión del lenguaje, la lectura o el razonamiento (Gathercole, Alloway, Willis, & Adams, 2006). La podemos definir como un sistema que mantiene y manipula la información de manera temporal (Baddeley, 2012; Tirapu-Ustarroz & Muñoz-Céspedes, 2005), para transformarla y así planificar y guiar la conducta en los diferentes procesos cognitivos en los que interviene (Tirapu-Ustarroz & Muñoz-Céspedes, 2005).

El término memoria de trabajo fue acuñado por Baddeley (Baddeley, 2000; Baddeley & Hitch, 1994; Baddeley, 1986, 1992; Baddeley & Hitch, 1974;

Baddeley & Sala, 1996) quien dividió esta memoria en tres subcomponentes. En primer lugar, el sistema fonológico para la información auditiva. En segundo lugar, el sistema visoespacial para la información visual y visoespacial. En tercer lugar, está el ejecutor central, encargado de asignar la atención sobre los estímulos visuales o auditivos entrantes para que la información pueda procesarse, guardarse, para un uso y/o actuación posterior. En la actualidad las aportaciones de Tirapu-Ustarroz y Muñoz-Céspedes, (2005) y Urhausen, Gabriel, y Kindermann (1995), a partir de las de Baddeley, reestructuran esta memoria en cuatro subcomponentes:

- a) El bucle fonológico es un sistema de almacenamiento provisional, que nos permite utilizar el sistema subvocal, para mantener la información en la conciencia, hasta que nuestro cerebro la procesa. En consecuencia, Tirapu-Ustarroz y Muñoz-Céspedes (2005), mencionan que “el bucle fonológico es relevante para el almacenamiento transitorio del material verbal y para mantener el habla interna que está implicada en la memoria a corto plazo” (p.476).
- b) La agenda visoespacial tiene un funcionamiento similar al bucle fonológico, pero en este caso, su fuente de información son las imágenes, por tanto, se centra en mantener y manipular las imágenes visuales.
- c) El sistema ejecutivo central puede ser definido como “sistema por medio del cual se llevan a cabo tareas cognitivas en las que interviene la memoria de trabajo, y que realiza operaciones de control y selección de estrategias” (Tirapu-Ustarroz & Muñoz-Céspedes, 2005, p.476).
- d) El buffer episódico, este es un concepto que se ha introducido debido a que se piensa que la información fonológica y visual deben combinarse de algún modo de forma simultánea, integrando la información procedente de la memoria a largo plazo. Por tanto, se crea una representación multimodal y temporal de la situación actual. Este subcomponente no tiene una ubicación concreta en un área del cerebro, sino que es consecuencia de una descarga de diferentes neuronas, de forma simultánea en una red ampliamente distribuida

y formada por vías redundantes (Prabhakaran, Narayanan, Zhao, & Gabrieli, 2000).

- Memoria a largo plazo: está constituida por todas aquellas experiencias y conocimientos que se van guardando a lo largo de la vida. Smith (1989) la define como “un sistema organizado de conocimientos en que cada ítem de información está relacionado de alguna manera con todos los demás” (p.60). Tiene una capacidad ilimitada, ya que puede retener la información por largos periodos de tiempo (Schmidt et al., 2018).

En cuanto a la relación entre la memoria y la atención, muchas veces determinados estímulos presentes en una situación no se atienden como corresponde. Es por ello que, muchos de los problemas de memoria, pueden ser consecuencia de no prestar atención al estímulo o los estímulos presentes (Fuenmayor & Villasmil, 2008).

Por último, debemos saber que estos tres tipos de memoria quedan relacionados mediante una serie de procesos (Mayer, 2002) (Figura 13). El primero de ellos es la selección, que consiste en centrar la atención en la información entrante por la memoria sensorial y seleccionar los elementos más importantes de esta, para hacérselos llegar a la memoria a corto plazo. Es decir, consiste en separar aquella información irrelevante de la relevante. En segundo lugar, está la organización, que hace referencia a las conexiones internas que se producen entre la nueva información que ha sido seleccionada, con la finalidad de crear un paquete donde la nueva información, procedente de la memoria sensorial, queda interconectada y organizada. Luego está la integración, que es la conexión que hay entre el nuevo paquete organizado, que se ha formado en la memoria a corto plazo, y todo el conocimiento o información relevante que el sujeto recupera de la memoria a largo plazo. Por último, tenemos la codificación, que consiste en almacenar de forma permanente el conocimiento que se ha generado, el cual se transfiere de la memoria a corto plazo a la memoria a largo plazo (Mayer, 2002).

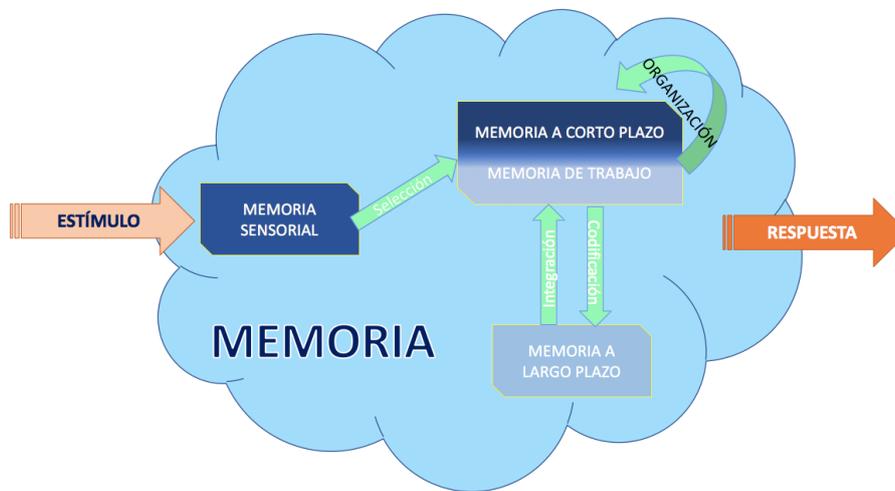


Figura 13: Modelo de procesamiento de la información del sistema de memoria, modificado de Mayer (2002).

2.3.1.3. Control ejecutivo

Este término nace gracias a las investigaciones que realizó Lezak (e.g. Lezak, 1982, 1987, 1995) conceptualizándolo como la capacidad mental que tiene un sujeto para llevar a cabo una conducta eficaz, creativa y aceptada socialmente.

El control cognitivo o ejecutivo se refiere a la capacidad de coordinar el pensamiento y la acción para dirigirlo hacia la obtención de unos objetivos particulares (Miller & Wallis, 2009) de forma flexible (Funahashi, 2001). Cuando se habla de que es flexible, Funahashi (2001) hace referencia a la forma en que se coordinan los procesos y subprocesos para la consecución del objetivo.

Otros autores (Shallice, 1982; Tirapu-Ustarroz & Muñoz-Céspedes, 2005) lo describen como una serie de procesos o mecanismos en los cuales se asocian las ideas, acciones y movimientos simples, que están implicados en los procesos cognitivos, y todo ello se orienta hacia la resolución de las situaciones complejas que se presenten.

Dentro de una línea más cognitivista, como bien nos dice Sholberg (1989) en Tirapu-Ustarroz et al., (2008), en su estudio, consideran que el control ejecutivo “comprende un conjunto de procesos cognitivos como la anticipación, elección de objetivos,

planificación, selección de la conducta, autorregulación, autocontrol y uso de retroalimentación (feedback)” (p.684).

A nivel fisiológico y anatómico, el control ejecutivo está controlado por los lóbulos frontales, los cuales se encargan de coordinar toda la información que procede de las diferentes estructuras del cerebro, con la finalidad de realizar conductas proposicionales o enfocadas hacia un fin (Goldberg, 2018).

2.3.2. Modelos de interferencia

Si durante la realización de dos tareas se requieren respuestas motoras, las estructuras cerebrales necesarias para programar y ejecutar esas respuestas pueden superponerse y pueden producirse interferencias (McCulloch, 2007). Diferentes autores, como McCulloch (2007) y Lee et al., (2013) añaden que lo importante está en el cambio o diferencia que hay en una variable cuando la tarea se realiza sola (ST), y cuando esa misma tarea se combina con otra (DT). Es decir, el rendimiento que se da en la tarea principal se tiene como nivel de referencia durante la realización de la tarea secundaria, (i.e., DT). Esa diferencia entre el rendimiento cuando la tarea se realiza sola (ST) y cuando se realiza de forma simultánea con otra tarea, se denomina coste o déficit de DT (DTC) (McCulloch, 2007).

Hasta la fecha se han encontrado indicios sobre el DTC que podría ser explicado de forma teórica empleando diferentes modelos o teorías. A continuación, se van a describir los principales modelos explicativos de los hallazgos encontrados hasta la fecha en el ámbito de las dobles tareas.

Cuando se combina una tarea de equilibrio con una tarea cognitiva, la tarea de equilibrio o, mejor dicho, el mantener el control postural prevalece sobre la tarea cognitiva. A este hecho se le denominó “*posture first*” (Lacour, 2013; Shumway-Cook, Woollacott, Kerns, & Baldwin, 1997; Young et al., 2012). Se postula que esta prevalencia está relacionada con la seguridad que el propio sujeto tiene sobre sí mismo (McCulloch, 2007). Según Lacour (2013), esta acción consiste en poner todo el cuerpo rígido por temor a una caída, suele aparecer en personas de edad avanzada y es una alternativa a la estrategia de tobillo.

Otro modelo que ha ido adquiriendo fuerza tras el paso del tiempo es el modelo de procesamiento de la información de Kahneman (1973). Según este autor, los sujetos disponen de una capacidad de procesamiento limitada, con la cual se puede atender a diversas tareas atencionales a la vez, siempre y cuando, la suma de la demanda atencional no supere la capacidad atencional total de cada sujeto. En consecuencia, Kahneman (1973) pretende determinar si la disminución del rendimiento en una DT se debe a la existencia de un límite general de la capacidad de procesamiento o si es debido a una interferencia estructural, ocasionada por interacciones atencionales específicas entre la tarea secundaria y la primaria. Para aclarar algunos aspectos del modelo, Kahneman (1973) introdujo dos conceptos: interferencia estructural e interferencia de capacidad.

El primero de ellos, interferencia estructural, se da cuando a un sujeto se le presenta una situación en la que debe realizar dos tareas que comparten el mismo sistema de entrada o salida de información, de forma que se produce una sobrecarga en el sistema periférico del sujeto. Es por ello que, Abernethy (1988) indica que la interferencia estructural indica más una sobrecarga periférica que la existencia de una limitación en la capacidad de atención del sujeto. Además, Wright y Kemp (1992) consideran que la interferencia estructural ocurre cuando dos tareas compiten por un recurso atencional común. En consecuencia, Abernethy (1988) sugiere que en los estudios que se investigue la capacidad atencional, se debe evitar la interferencia estructural entre las tareas presentadas. Por ejemplo, existiría interferencia estructural si presentáramos dos estímulos, uno visual y otro auditivo a los que se tuviera que dar respuesta por separado. Por eso, otro aspecto a tener en cuenta a la hora de elegir las DT es considerar los inputs de entrada del estímulo (auditivo, visual o cinestésico) y los outputs de respuesta (verbal o motora).

La interferencia de capacidad parte de la idea de que las personas comparten la capacidad de procesamiento (o los recursos mentales) entre las tareas. De esta forma, cuando un sujeto realiza dos o más tareas a la vez, hay menos capacidad para cada una de las tareas individuales y en consecuencia el rendimiento de una tarea o de todas ellas puede disminuir. Por ejemplo, existiría interferencia de capacidad cuando

presentamos un estímulo cognitivo (tarea cognitiva) mientras se mantiene la estabilidad corporal mirando a un punto fijo (estímulo visual). Según Kahneman (1973), la interferencia de capacidad ocurre cuando la capacidad total de procesamiento de la información central ha sido superada durante la realización de dos tareas realizadas al mismo tiempo, pudiendo verse afectado el rendimiento de estas.

Una alternativa a lo explicado es el *modelo de cuello de botella* (Pashler, 1994), que se da cuando en las tareas presentadas el sujeto debe utilizar el mismo mecanismo para resolver las tareas y lo debe utilizar al mismo tiempo. La consecuencia de esto es que como el mecanismo no puede utilizarse al mismo tiempo, ambas tareas se retrasan o una de ellas sale perjudicada. Pashler (1994) en su estudio menciona que estas interferencias se observaron tanto en DT continuas, como en DT puntuales. La principal idea de este modelo es que el procesamiento en paralelo (de un único mecanismo) puede ser imposible para ciertas operaciones mentales que se dan al mismo tiempo.

Otra opción que proponen Pashler (1994) y Kinsbourne (1981) es que la interferencia sea debido al contenido de la información que se está procesando y no al tipo de operación que se lleva a cabo, como en el modelo anterior. Por tanto, aquí se refiere a qué entradas sensoriales están presentes, qué respuestas se están produciendo y qué pensamientos está teniendo la persona. Lo que pretende explicar este autor es que durante la realización de dos tareas que involucran la presencia de información similar, la ejecución de estas es más difícil debido a que se produce un cruce de información (contenido).

En una dirección afín, están Navon y Miller (1987) que plantean que en las DT las interferencias vienen causadas porque durante la realización de una tarea, esta produce efectos secundarios que son perjudiciales para el procesamiento de la otra tarea, este hecho lo denominan el *conflicto de resultados*.

Para combatir todas estas teorías o modelos explicados, en un estudio sobre el control postural (Dault, Frank, & Allard, 2001) demostraron que, en las DT, los sujetos pueden redirigir la atención de la tarea motora primaria a la tarea cognitiva secundaria,

realizando una contracción de las extremidades, para crear mayor rigidez y conseguir que la tarea motora tenga un rendimiento aceptable. El papel que aborda la rigidez, fue estudiado por van Galen y sus colaboradores (van Galen & van Huygevoort, 2000; Van Gemmert & van Galen, 1997, 1998), de forma que a este hecho lo denominaron la *teoría del ruido neuromotor*. Esta teoría explica que el aumento del estrés de una tarea tiene como consecuencia el aumento de la variabilidad del punto final de un movimiento. En un estudio (van Galen & de Jong, 1995) sobre los efectos de la rigidez de las extremidades, se demostró que, gracias al aumento de la rigidez en la extremidad móvil, mediante la activación de los músculos agonistas y antagonistas, el sistema motor podía mejorar la precisión del movimiento espacial.

Según Saxena et al., (2017) la capacidad de realizar tareas simultáneas se considera multidimensional. Puede explicarse desde diferentes perspectivas teóricas, pero para explicar las dificultades de las DT, en la actualidad se proponen tres modelos (Bonnet & Baudry, 2016; Bustillo-Casero, Villarrasa-Sapiña, & García-Massó, 2017; Lacour, Bernard-Demanze, & Dumitrescu, 2008; Palluel et al., 2010; Wollesen, Voelcker-Rehage, Reagenbrecht, & Mattes, 2016):

- El modelo de competencia entre dominios: los sujetos tienen una capacidad limitada de atención y procesamiento. Al realizar dos tareas (tarea cognitiva y motriz) de forma simultánea, conduce a una división de ella, es decir, hay una competencia por los recursos de atención entre la tarea cognitiva y motriz. El equilibrio de un individuo, debido al intercambio de recursos de atención, debe ser menor en una DT que en una única tarea.
- El modelo de interacción no lineal en forma de U, sugiere que existe una relación en forma de U entre el control corporal y las demandas cognitivas, en el que el equilibrio podría mejorar o disminuir según la dificultad de la demanda cognitiva de la tarea secundaria.
- El modelo de priorización de tareas, pretende explicar que los sujetos priorizan el control postural antes que la tarea cognitiva en condiciones específicas, como por ejemplo en condiciones de amenaza postural.

Principalmente está relacionado con adultos más mayores que priorizan la estabilidad postural a expensas del rendimiento cognitivo en una DT.

3. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1. OBJETIVOS

La adolescencia es un periodo durante el cual suceden una serie de cambios físicos, motrices, anatómicos, cognitivos, etc., paralelos al desarrollo del control postural. Una adecuada estabilidad postural permite que los adolescentes respondan a posibles perturbaciones para evitar caídas. Los adolescentes, durante esta etapa vivencian diariamente un gran cúmulo de situaciones en las cuales están realizando dos tareas de forma simultánea, es decir, llevan a cabo un gran número de procesos cognitivos al mismo tiempo que permanecen en equilibrio. Además, debemos ser conocedores de la importancia que tiene el sistema sensorial en estos casos. Desafortunadamente, existe una falta de conocimiento sobre el desarrollo de la capacidad de reponderación sensorial durante la adolescencia en condiciones en las que la información sensorial visual, vestibular, propioceptiva y cutánea se ve perturbada.

Si trasladamos esto al ámbito educativo, desde el punto de vista de la Educación Física, el hecho de incluir una tarea cognitiva (de una complejidad media) durante la realización de las tareas motoras puede ser interesante para mejorar el propio rendimiento en las tareas motoras.

Por lo tanto, se constata la necesidad de realizar investigaciones concretas que traten de aportar nuevas evidencias sobre cómo actúan los diferentes elementos del control postural, los elementos de las tareas cognitivas y sobre cómo estos elementos se influyen entre ellos, durante la etapa de la adolescencia. Para ello se plantean los siguientes objetivos:

3.1.1. Objetivos generales

- Analizar la influencia de la edad sobre el control postural, para conocer la evolución de este en adolescentes de 13 a 18 años.
- Analizar el control postural en niños y adolescentes de 13 a 18 años de edad y su modulación al realizar tareas cognitivas.

- Analizar el control postural en niños y adolescentes de 13 a 18 años de edad y su modulación al realizar tareas en las que la información sensorial sufre una restricción o perturbación.

3.1.2. Objetivos específicos

- Analizar la influencia del sexo y la edad sobre el control postural unipodal, para conocer la evolución de este en los adolescentes de 13 a 18 años.
- Determinar el efecto del incremento de la dificultad de una DT sobre el control y la estabilidad postural en función de la edad de los adolescentes de 13 a 18 años.
- Conocer la influencia de la restricción y/o perturbación de la información visual, vestibular y propioceptiva sobre la estabilidad y control postural en función de la edad de los adolescentes de 13 a 18 años.

3.2. HIPÓTESIS

Los diferentes estudios muestran algunas controversias respecto a la edad en la cual los adolescentes adquieren un desarrollo del control postural igual al de los adultos (Ferber-Viart et al., 2007; Hirabayashi & Iwasaki, 1995; Mickle et al., 2011; Nolan et al., 2005; Steindl et al., 2006) o sobre la posible influencia de las tareas cognitivas en su equilibrio (Huang & Mercer, 2001; Palluel et al., 2010; Remaud et al., 2012; Woollacott & Shumway-Cook, 2002).

- 1- En primer lugar, respecto al desarrollo del control postural unipodal, basándose en las aportaciones previas (Hirabayashi & Iwasaki, 1995; Cumberworth et al., 2007; Steindl et al., 2006), se espera que los adolescentes más mayores presentaran un mayor control postural, reflejado en unos valores más bajos en las diferentes variables de equilibrio, en comparación con los adolescentes más jóvenes. Por otro lado, algunos hallazgos (Mickle et al., 2011; Nolan et al., 2005; Steindl et al., 2006) sugieren que las chicas pueden presentar un proceso de maduración anticipado, el cual afecta al desarrollo del control postural, en comparación con los chicos.
- 2- En algunas situaciones el desempeño de una tarea se ve afectada debido a que la demanda atencional es superior a los recursos atencionales del sujeto

(Olivier et al., 2010). Fundamentándonos en estos hallazgos se formula la hipótesis de que tanto el rendimiento de la estabilidad postural como el cognitivo se verá afectado según se incremente la dificultad de la tarea cognitiva. Además, pueden aparecer diferencias en la estabilidad postural y el rendimiento cognitivo entre los adolescentes más jóvenes y los mayores.

- 3- Por último, respecto al control postural y la reponderación sensorial se espera encontrar diferencias entre los adolescentes más jóvenes y los adolescentes más mayores en los diferentes sistemas sensoriales, teniendo estos últimos una reponderación más eficaz.

Para solventar estas cuestiones y verificar nuestras hipótesis se plantearon tres estudios, con la finalidad de aportar respuestas a cada una de las cuestiones planteadas.

4. ESTUDIOS

4. ESTUDIOS

4.1. INTRODUCCIÓN

El control postural es un aspecto fundamental para comprender la capacidad que las personas tienen para mantener el equilibrio en situaciones de reposo (Alves et al., 2013; Rama & Pérez, 2004). Este varía conforme al grado de maduración o a la etapa de desarrollo en la que se encuentran los individuos (Peterson et al., 2006; Sparto et al., 2006). Además, en cada una de las etapas, se pueden ver diferencias entre sexos (Mickle et al., 2011; Nolan et al., 2005). La mayoría de estudios con niños (Faigenbaum et al., 2014; Peterson et al., 2006; Rival et al., 2005) se han centrado en edades comprendidas entre los 8 y los 12 años. Aquellas investigaciones que analizan el equilibrio en jóvenes (Barozzi et al., 2014; Peterson et al., 2006) estudian personas cuya edad supera los 20 años. Así pues, parece existir un vacío científico en la investigación del equilibrio en edades comprendidas entre los 13 y los 18 años.

La importancia del desarrollo madurativo de los niños para la mejora del equilibrio (Mickle et al., 2011; Peterson et al., 2006), justifica estudios como el presente, dónde se analizan las diferencias de este proceso en los diferentes grupos de edad mencionados. Por tanto, consideramos oportuno realizar un primer estudio sobre el control postural en los adolescentes, donde se comparan las variables de estabilidad postural durante una tarea motora (posición monopodal) entre las diferentes edades y sexos.

Debido a que durante el mantenimiento de la estabilidad postural muchas veces las personas están realizando otra actividad motora o cognitiva, consideramos oportuno estudiar este hecho. Cuando se realizan dos tareas simultáneamente, el rendimiento de una de ellas disminuye con respecto a la realización de esta de forma aislada (Andersson, Hagman, Talianzadeh, Svedberg, & Larsen, 2002). Sin embargo, existen pocas evidencias que demuestren el efecto que tiene el incremento en la dificultad de una tarea cognitiva sobre el rendimiento de una tarea de equilibrio, todo ello mediante una tarea dual (Dault et al., 2001). Los adolescentes parecen priorizar el control postural durante las tareas duales de una dificultad alta (Bustillo-Casero et al., 2017).

Estos aspectos son explicados mediante el modelo de competencia entre dominios, el modelo de interacción no lineal en forma de U o el modelo de priorización de tareas (Bonnet & Baudry, 2016; Bustillo-Casero et al., 2017; Lacour et al., 2008; Palluel et al., 2010; Wollesen et al., 2016). En consecuencia, en el segundo estudio consideramos oportuno investigar el efecto de la edad y de la dificultad de la tarea dual sobre la estabilidad postural y el rendimiento cognitivo de los adolescentes.

En función de la integración de la información procedente de los diferentes sistemas sensoriales el cuerpo puede responder de forma desigual, consiguiendo un rendimiento u otro en el control postural. Este hecho es conocido como la reponderación sensorial (Peterka, 2002; Mahboobin et al., 2005; Oie et al., 2002; Peterka & Loughlin, 2004; van der Kooij et al., 2001). La dependencia atribuida a los sistemas sensoriales (reponderación sensorial) varía en función de la edad (e.g., niños o adolescentes) (Polastri & Barela, 2013). Por tanto, con el tercer estudio se pretende conocer cómo se adapta el control postural de los adolescentes cuando se producen cambios (e.g., perturbaciones sensoriales, mecánicas o cognitivas) en la información disponible de los diferentes sistemas sensoriales que intervienen durante el control postural.

4.2. ESTUDIO 1: Diferencias entre adolescentes en la estabilidad corporal unipodal.

4.2.1. Introducción

Se conoce como equilibrio a la capacidad de mantener el centro de gravedad dentro de la base de sustentación (Horak & Macpherson, 2011; Ibrahim et al., 2013), tanto de forma dinámica como estática (Hatzitaki et al., 2002). El control postural es un aspecto fundamental para comprender la capacidad que las personas tienen para mantener el equilibrio en situaciones de reposo (e.g., equilibrio estático) (Alves et al., 2013; Rama & Pérez, 2004).

Diferentes estudios (Peterson et al., 2006; Sparto et al., 2006) nos muestran como el control postural en niños/as y adolescentes es diferente al de los adultos, encontrándose en cada edad unos patrones de control postural distintos, variando además estos en función del sexo (Mickle et al., 2011; Nolan et al., 2005). Algunos de estos estudios sugieren (Mickle et al., 2011; Peterson et al., 2006) que las diferencias por la edad pueden ser debidas al proceso de maduración (físico, cognitivo, sistema nervioso, sensorial, neuromuscular...). Estas diferencias por el proceso de maduración se hacen más visibles cuando comparamos a niños y niñas de la misma edad (Cumberworth et al., 2007). Estas diferencias, que empiezan a disminuir a partir de los 10 años de edad (Rival et al., 2005), posiblemente sean debidas al desarrollo madurativo del sistema nervioso temprano en las chicas, además de que la vista, el sistema vestibular y el sistema propioceptivo se desarrollan antes en ellas (Cumberworth et al., 2007; Peterson et al., 2006).

Por otro lado, las diferencias en el crecimiento revelan que las chicas experimentan los cambios corporales antes que los chicos (Alves et al., 2013), pudiendo realizar el proceso de maduración y desarrollo óseo hasta dos años antes si lo comparamos con el de los chicos (Beunen et al., 1997), aspecto que según algunos autores afecta al equilibrio.

En un estudio de Mickle et al., (2011) se encontraron diferencias entre niños y niñas de entre 8-10 años mediante diferentes test de estabilidad estática, (pies separados,

pies juntos y apoyo unipodal) indicando que las niñas tenían mejores resultados en todas las pruebas. En esta línea, Geldhof et al., (2006) también encontraron un mejor control postural en chicas de 9-10 años de edad.

Por otro lado, existe un desarrollo del equilibrio desde una edad temprana (Foudriat et al., 1993) y la maduración de los diferentes sistemas (propioceptivo, visual y vestibular) depende de la edad y presenta cambios progresivos hasta los 16 años. A nivel general, Rival et al., (2005) e Ibrahim et al., (2013) señalan que los niños y niñas hasta los 10 años son menos eficaces que los adultos en el control del equilibrio, tanto estático como dinámico. Además, Nolan et al., (2005) que trabajaron con niños de 9 a 16 años, observaron que algunos aspectos del control postural siguen desarrollándose pasados los 9-10 años de edad.

Como resumen de los contenidos revisados, se observa que la mayoría de estudios con niños (Faigenbaum et al., 2014; Peterson et al., 2006; Rival et al., 2005) se centran en edades comprendidas entre los 8 y los 12 años. Además, aquellas investigaciones que analizan el equilibrio en jóvenes adultos (Barozzi et al., 2014; Peterson et al., 2006) estudian personas cuya edad supera los 20 años. Así pues, parece existir un vacío científico en la investigación del equilibrio en edades comprendidas entre los 13 a 17 años, ambos inclusive.

Por lo tanto, el presente estudio tiene dos objetivos principales: i. Comprobar el efecto del sexo sobre el equilibrio unipodal de los adolescentes y ii. Comprobar el efecto de la edad sobre el equilibrio unipodal de los adolescentes.

4.2.2. Material y método

4.2.2.1. Participantes

Se utilizó un diseño transversal, prospectivo, entre sujetos para establecer las diferencias en la estabilidad postural unipodal dependiendo de la edad y el sexo de los adolescentes. Utilizando un método de muestreo no probabilístico, se eligieron a ciento cincuenta y un adolescentes de entre 13 y 17 años para participar en el estudio, divididos en 5 grupos de edad. Los criterios de inclusión fueron: i) tener entre 13 y 17

años (ambos inclusive) y ii) ausencia de patología que pudiera afectar al control motor. Las características de los sujetos en los grupos se muestran en la Tabla 1.

Se obtuvo la aprobación previa del Comité Ético de la Universidad de Valencia y el consentimiento informado por escrito de los padres antes de participar en este estudio.

Tabla 1

Características de los sujetos

Variable	13 años (n = 30)	14 años (n = 30)	15 años (n = 31)	16 años (n = 31)	17 años (n = 29)
Sexo					
Chicos	15	15	15	15	14
Chicas	15	15	16	16	15
Peso (kg)	58.11 (2.26)	59.55 (2.27)	61.69 (1.98)	62.40 (1.87)	65.17 (2.45)
Altura (cm)	161.50 (1.36)	165.10 (1.66)	168.79 (1.88)	168.00 (1.55)	170.9 (2.06)
IMC (kg/m ²)	22.09 (0.62)	21.67 (0.51)	21.53 (0.46)	22.01 (0.46)	22.19 (0.58)
IMC (Percentil)	75.15 (3.68)	69.37 (3.55)	62.90 (4.14)	61.72 (3.84)	53.93 (4.56)

Datos expresados mediante la media (error típico) excepto para el sexo que está recogido el número de chicos y chicas de cada grupo. IMC = índice de masa corporal.

4.2.2.2. Procedimiento

Las señales del Centro de Presiones (CoP) se adquirieron mediante la Wii Balance Board (WBB). Este dispositivo ha sido validado como un buen medio para analizar el control postural en la posición de pie tanto en adultos (Collins & De Luca, 1995; Harbourne, Deffeyes, Kyvelidou, & Stergiou, 2009) como en niños (Larsen, Jørgensen, Junge, Juul-Kristensen, & Wedderkopp, 2014). Los datos se adquirieron usando el software WiiLab (Universidad de Colorado Boulder, Colorado, EEUU) para Matlab R2008 (Mathworks Inc, Natick, EE.UU.). La WBB se colocó sobre una superficie estable en el suelo. Las señales de los datos se registraron a una frecuencia de 40 Hz.

Todos los adolescentes fueron evaluados en la escuela a la que pertenecían. Durante las mediciones, los adolescentes debían mantener la postura unipodal durante 50 segundos. En esta condición, los sujetos se colocan en posición unipodal con la pierna

dominante encima de la plataforma, descalzos, con los brazos relajados, la rodilla de la pierna no dominante flexionada 90° y lo más quietos posible durante la prueba.

4.2.2.3. Análisis de los datos

Las señales de desplazamiento del CoP en las direcciones mediolateral y anteroposterior fueron filtradas con un filtro pasa-baja Butterworth con una frecuencia de corte de 12 Hz. Para evitar sesgos por la estabilización tardía (Raymakers, Samson, & Verhaar, 2005) los primeros 5 segundos de cada ensayo fueron excluidos del análisis. Después se calculó la velocidad media en las direcciones antero-posterior (MV_{AP}) y medio-lateral (MV_{ML}) y el área en forma de elipse con un intervalo de confianza del 95% (EA) utilizando las ecuaciones propuestas por Prieto et al., (1996).

4.2.2.4. Análisis estadístico

Se utilizó el software SPSS Versión 21 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE.UU.) para el análisis estadístico. La prueba de Kolmogorov-Smirnov se utilizó para analizar la distribución de las variables. Se utilizaron métodos estadísticos estándar para obtener la mediana como medida de la tendencia central y el rango intercuartílico como medida de dispersión. Para analizar la diferencia entre sexos se utilizó la prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes y para analizar las diferencias entre grupos de edad se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis para k -muestras. Cuando se encontró un efecto de la edad estadísticamente significativo se realizaron comparaciones por pares con la corrección de Bonferroni. Se aceptó un valor de $p = 0.05$ como nivel de significación para todos los análisis estadísticos.

4.2.3. Resultados

Durante la prueba Unipodal hemos encontrado diferencias significativas entre sexos en las variables EA ($z = -4.09$, $p < 0.001$, $r = -0.33$), MV_{AP} ($z = -5.53$, $p < 0.001$, $r = -0.45$) y en MV_{ML} ($z = -4.67$, $p < 0.001$, $r = -0.38$) del control postural, obteniendo valores menores las chicas que los chicos (Tabla 2).

Tabla 2

Diferencias por sexo en las variables de estabilidad postural durante la prueba unipodal.

	CHICOS	CHICAS
EA (mm ²)	1158.57 (524)*	922.21 (466.53)
MV _{AP} (mm/s)	30.87 (10.81)*	25 (9.18)
MV _{ML} (mm/s)	33.12 (13.69)*	25.26 (9.52)

*Los datos están expresados mediante la mediana (rango intercuartil). * Indica diferencias significativas entre sexos ($p < 0.05$).*

La prueba Kruskal-Wallis mostró un efecto de la edad sobre la EA ($H_5=13.88$, $p = 0.016$). Las comparaciones por pares (Tabla 3) mostraron valores más elevados en la variable EA en el grupo de 14 años que en el de 16 años de edad ($p < 0.05$).

Tabla 3

Diferencias entre grupos de edad en las variables de estabilidad postural durante la prueba Unipodal.

	EA (mm ²)	MV _{AP} (mm/s)	MV _{ML} (mm/s)
13 años	1011.33 (402.43)	31.25 (13.55)	27.5 (8.76)
14 años	1234.78* (514.09)	32.08 (14.16)	30.45 (8.64)
15 años	997.26 (423.73)	27.08 (12.21)	26.61 (9.97)
16 años	836.1* (418.01)	25.76 (11.77)	24.56 (11.03)
17 años	1081.84 (629.59)	28.94 (11.86)	26.28 (8.29)

*EA = área de la elipse; MV_{AP} = velocidad media en dirección antero-posterior; MV_{ML} = velocidad media en dirección medio-lateral. * Indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los dos grupos de edad.*

4.2.4. Discusión

En la literatura científica encontramos estudios que han analizado el desarrollo del equilibrio desde una edad temprana hasta los primeros años de edad escolar (Foudriat et al., 1993), en la primaria (Ibrahim et al., 2013; Riach & Hayes, 1987) o comparando a los niños con la edad adulta (Sparto et al., 2006).

Hay una considerable muestra de conocimiento que evidencia la importancia del desarrollo madurativo de los niños para la mejora del equilibrio (Mickle et al., 2011; Peterson et al., 2006), de ahí la importancia de estudios como el nuestro donde se analizan las diferencias de este proceso en diferentes grupos de edad y sexo.

En primer lugar, nuestros resultados muestran grandes diferencias entre chicos y chicas en las diferentes variables del CoP analizadas en la prueba de equilibrio estático unipodal. Las chicas muestran valores más bajos tanto en el área de la elipse como la velocidad media de los desplazamientos del CoP. Este patrón tal vez podría ser interpretado como un cambio en la estrategia de control del equilibrio mediante el cual se reduce la velocidad de desplazamiento al reducir la magnitud y cantidad de reajustes posturales. De esta forma, se consigue una mayor estabilidad como se ha sugerido en otros estudios en niños (Rival et al., 2005).

Esto nos confirma el proceso de maduración anticipatorio que llevan las chicas respecto a los chicos teniendo más desarrollados los sistemas involucrados en el equilibrio: la vista, el sistema vestibular y el sistema propioceptivo (Cumberworth et al., 2007).

Por otro lado, cuando analizamos las diferencias entre los grupos de edad, solo encontramos diferencias entre los grupos de 14 y 16 años en la variable EA del CoP. Nuestros resultados van en la línea de estudios anteriores (Cumberworth et al., 2007; Nolan et al., 2005) que encontraron cambios progresivos en los sistemas encargados de la estabilidad del CoP hasta la edad de 16 años o el estudio de Hirabayashi y Iwasaki (1995) que encontraron que alrededor de los 15 años de edad se producían cambios tanto en el sistema visual como en el vestibular que afectaban al equilibrio.

Hemos de tener en cuenta que la adolescencia es un periodo de la vida donde se producen grandes cambios a nivel físico, cognitivo, neuromuscular... (Mickle et al., 2011; Peterson et al., 2006), que van a influir en los sistemas encargados del mantenimiento del equilibrio (visual, propioceptivo y vestibular), por lo que el rendimiento en la estabilidad corporal irá cambiando hasta que los niños se adapten a su nuevo cuerpo, pudiendo ser alrededor de los 15-16 años un punto de inflexión en la estabilidad corporal.

En cuanto a las limitaciones del estudio, no hemos podido analizar las diferencias por sexo en los diferentes grupos de edad debido al reducido número de chicos y chicas por grupo del que disponíamos, en futuras investigaciones se debería aumentar la muestra para tener en cuenta los diferentes niveles de maduración que tienen los chicos y las chicas durante esta etapa. Por otra parte, aumentar la edad de alcance de los sujetos podría ser interesante para establecer el período en el que se desarrolla completamente el equilibrio.

4.2.5. Conclusiones

En conclusión, las adolescentes de entre 13-17 años de edad mostraron un mejor control postural y estabilidad que los adolescentes durante el mantenimiento del equilibrio unipodal estático. Además, la edad de 16 años parece ser un momento donde se tiene un mayor dominio del equilibrio que en edades anteriores.

4.3. ESTUDIO 2: Influencia de una tarea de memoria de trabajo en la estabilidad postural y la función cognitiva de los adolescentes.

4.3.1. Introducción

El equilibrio se refiere a la capacidad de estabilizar el cuerpo para mantener la postura con una posición estática para lo que es indispensable integrar la información sensorial visual, vestibular y del sistema propioceptivo (Mickle et al., 2011). En consecuencia, el equilibrio o la estabilidad postural no se regula automáticamente, si no que requiere una cantidad mínima de atención, no solo en niños sino también en adolescentes / adultos jóvenes (Palluel et al., 2010; Remaud et al., 2012). Durante la infancia, el desarrollo del sistema nervioso central y la adquisición de las nuevas estrategias posturales mejoran la estabilidad postural (Olivier et al., 2010), pero parece haber un estancamiento en esta evolución que aparece entre los 9-10 y los 11-12 años (Palluel et al., 2010). La adolescencia es un período dinámico de desarrollo que implica cambios rápidos en el tamaño, forma y composición corporal, y afecta tanto al desarrollo (Giedd et al., 1999) como al comportamiento (Buchanan et al., 1992). Sin embargo, a pesar de los continuos cambios biológicos en la adolescencia, no hay mucha evidencia sobre el efecto de la edad sobre la estabilidad postural en esta etapa (Ruffieux et al., 2015; Saxena et al., 2017).

El equilibrio y la función cognitiva (e.g., la memoria de trabajo) pueden potencialmente influirse mutuamente (Huang & Mercer, 2001). Los estudios realizados sobre la relación entre el rendimiento motor y la memoria de trabajo han empleado protocolos experimentales en los cuales los individuos realizaban dos tareas simultáneamente (tarea dual) o una tarea primaria mientras llevan a cabo una tarea secundaria simultánea (Lee et al., 2013). Las dificultades de las DT se producen principalmente cuando las dos tareas necesitan los mismos recursos (Huang & Mercer, 2001). Los estudios de comportamiento que modulan los efectos recíprocos de las actividades posturales y de memoria de forma simultánea mostraron evidencias consistentes de un detrimento de la estabilidad postural y del rendimiento cognitivo cuando durante el mantenimiento del equilibrio (i.e., la tarea principal) hay una perturbación mecánica o visual (Fraizer & Mitra, 2008; Remaud et al., 2012). Sin

embargo, la modulación de la tarea secundaria (e.g., tarea de memoria de trabajo) mostró hallazgos inconsistentes, incluyendo el deterioro postural, la mejora del equilibrio o ningún efecto (Fraizer & Mitra, 2008). Esta situación parece ser un desafío para descubrir y comprender las condiciones precisas de la tarea cognitiva que afectan tanto a la memoria como al control postural.

Los recursos comunes necesarios que implican el coste en el rendimiento de las DT han sido principalmente estudiados en adultos (Andersson et al., 2002; Gabbett, Wake, & Abernethy, 2011; Yeh, Cinelli, Lyons, & Lee, 2015). Cuando ambas tareas, cognitiva y de equilibrio, se realizaron simultáneamente, el rendimiento en el equilibrio se deteriora con respecto a cuando esta se realiza de forma simple (Andersson et al., 2002). Sin embargo, no aparece ninguna tendencia constante que muestre cambios en el rendimiento con tareas cognitivas más difíciles (Dault et al., 2001). Los adolescentes parecen priorizar el control postural durante la DT de alta dificultad (Bustillo-Casero et al., 2017). La dificultad de las DT depende de las edades de los adolescentes y su destreza a la hora de realizar habilidades de equilibrio (Woollacott & Shumway-Cook, 2002). En esta línea, una revisión sistemática recomendó que deben realizarse estudios que analicen la influencia de realizar una actividad cognitiva simultánea sobre el rendimiento de una tarea de equilibrio en adolescentes (Saxena et al., 2017).

La capacidad de realizar tareas simultáneas se considera multidimensional y particular (Saxena et al., 2017) y se puede explicar a partir de diferentes perspectivas teóricas. Se proponen tres modelos para explicar el efecto de las DT (Bonnet & Baudry, 2016; Bustillo-Casero et al., 2017; Lacour et al., 2008; Wollesen et al., 2016): el modelo de competencia entre dominios (en el que ambas tareas simultáneas compiten por los recursos de atención, por ejemplo, el equilibrio de un individuo disminuiría más en una DT que en una única tarea), el modelo de interacción no lineal en forma de U (en el que el equilibrio puede mejorar o disminuir según la dificultad de la demanda cognitiva de la tarea secundaria) y el modelo de priorización de tareas (principalmente relacionado con adultos más mayores que priorizan la estabilidad postural a expensas del rendimiento cognitivo en una DT).

El objetivo de este estudio fue, por lo tanto, examinar la estabilidad postural y la función cognitiva dependiendo del incremento de dificultad de una tarea de memoria de trabajo (WMT) y del grupo de edad en adolescentes en desarrollo. Debido a que se encontró que cuanto mayor es la dificultad de la WMT más bajos eran los recursos de atención disponibles (Olivier et al., 2010), se formuló la hipótesis de que, en las tareas cognitivas de alta dificultad, la estabilidad postural y el rendimiento cognitivo disminuirían, y los adolescentes mayores mostrarían mayor estabilidad postural y rendimiento cognitivo que los más jóvenes.

4.3.2. Métodos

4.3.2.1. Participantes

Se utilizó un método de muestreo no probabilístico para reclutar a 123 adolescentes en desarrollo (50.3% mujeres) para participar voluntariamente en el estudio. El tamaño de la muestra se calculó basándose en estudios previos de campo (Bustillo-Casero et al., 2017). Utilizando un nivel alfa de 0.05 y una potencia estadística de 0.9, 26 participantes fueron necesarios en cada grupo para obtener un tamaño del efecto de 0.93 entre ST y DT en la velocidad media de desplazamiento del CoP en la dirección antero-posterior (MV_{AP}) en adolescentes. Una muestra de alrededor de 30 participantes por grupo de edad (i.e., 13, 14, 15 y 16 años) se consideró que era lo suficientemente grande. Las características de los participantes se muestran en la Tabla 4. Los criterios considerados para su inclusión en los análisis de datos fueron: a) debían estar entre los 13 y los 16 años de edad; b) no haber tenido ninguna cirugía en los últimos 3 meses; y c) no estar discapacitado física, neurológica o intelectualmente. Se obtuvo el consentimiento de sus padres o tutores legales para participar en el estudio. Se obtuvo la aprobación previa del comité de ética institucional de la Universidad de Valencia.

Tabla 4

Características descriptivas de la muestra según grupo de edad.

	Total (n = 123)	13 años (n = 31)	14 años (n = 31)	15 años (n = 29)	16 años (n = 32)
Sexo	60/63	17/14	14/17	14/15	15/17
Peso (kg)	60.45 (11.55)	58.07 (12.22)	59.66 (12.49)	61.34 (11.16)	62.28 (10.27)
Altura (cm)	165.94 (9.31)	162.06 (7.97)	164.87 (8.77)	168.81 (10.71)	168.13 (8.53)
IMC (%)	66.94 (21.64)	73.29 (21.56)	70.39 (18.66)	63.16 (23.20)	60.88 (21.60)

Nota: IMC = índice de masa corporal. En el sexo, los datos se refieren a la cantidad de niños / niñas. Los datos de peso, altura, y el IMC se expresan como media (desviación estándar).

4.3.2.2. Procedimiento

Se utilizó un diseño transversal entre sujetos para estudiar el control postural al introducir una WMT con un incremento progresivo de dificultad en individuos de 13 a 16 años de edad. Los datos se recogieron en una sola sesión experimental. Se tomaron primero las medidas antropométricas, y luego se midió el equilibrio tanto en las ST como en las DT. El rendimiento cognitivo solo se midió en las DT.

Para la recopilación de datos, se le pidió a cada participante que adoptara una posición cómoda, bípeda, descalzos y con los talones tan separados como el ancho de los hombros, los dedos de los pies hacia afuera y los brazos relajados a los lados. Los participantes recibieron instrucciones para realizar tareas tanto en condiciones de ST (i.e., sin WMT) como DT (i.e., secuencias de 3, 5 y 7 dígitos) de la mejor manera que pudieran (i.e., permanecer lo más quietos posible y recordar las secuencias de dígitos con precisión). Un punto de referencia (5 cm de diámetro) o una WMT se proyectó en una pantalla a 2 m frente a los sujetos a la altura de los ojos. Se alentó a los participantes a mantenerse lo más quietos posible durante los ensayos. Se realizaron cuatro ensayos de 50 s cada uno (uno por condición) en orden aleatorio, con un 1 minuto de descanso entre los ensayos.

4.3.2.3. Medidas

El peso se midió en una báscula de impedancia bioeléctrica (TBF-410 M; Tanita, Tokio, Japón), y la altura se midió con los participantes descalzos con un tallímetro (modelo 217; Seca, Hamburgo, Alemania). Después se calculó la clasificación por percentil del índice de masa corporal (Kuczmarski et al., 2002).

El equilibrio se midió en una tabla de equilibrio WBB (45 × 26,5 cm; Nintendo, Kyoto, Japón) colocada sobre una superficie firme en el suelo. La WBB tenía cuatro sensores de carga con galgas extensométricas que miden las fuerzas verticales y se conectaron a un ordenador portátil a través de Bluetooth. Se usó MATLAB R2008 (MathWorks Inc., Natick, MA) para la adquisición de datos con el software desarrollado y compartido por el Laboratorio de Neuromecánica de la Universidad de Colorado, Denver, CO. La WBB se ha validado y ha demostrado ser fiable para mediciones de control postural, especialmente en niños y adolescentes (Larsen et al., 2014). Los datos del CoP se muestrearon a 40 Hz.

El rendimiento cognitivo se midió mediante la administración de una WMT con una dificultad progresiva que consiste en la prueba de dígitos inversa en tres niveles (i.e., secuencias de 3, 5 y 7 dígitos). Recordar una secuencia de números en orden inverso aumenta la dificultad de la tarea y requiere unos recursos ejecutivos (St Clair-Thompson & Gathercole, 2006). Cada prueba estaba compuesta por un número diferente de secuencias, ya que cada una duró 50 s y se realizó con secuencias de diferentes duraciones. La prueba de 3 dígitos tenía ocho secuencias, la prueba de 5 dígitos tenía cinco secuencias y la prueba de 7 dígitos tenía tres secuencias. Cada número en la secuencia se mostró durante 1 s, y el tiempo entre los dígitos fue 0.1 s. A los participantes se les mostraba la secuencia durante 3 s. La prueba cognitiva se proyectaba y grababa (software SMRecorder) al mismo tiempo en la pantalla de un ordenador portátil, a una distancia de 2 m, con el centro de la pantalla a la altura de los ojos, para poder analizarlo posteriormente. Durante la realización de las tareas se les pidió a los individuos que se mantuvieran lo más quietos posible y que recordaran, en orden inverso, cada secuencia mostrada.

4.3.2.4. Análisis de datos

Las señales del CoP se procesaron para atenuar el ruido utilizando un filtro de respuesta de impulso infinito Butterworth pasa-baja (la frecuencia de corte fue de 12 Hz). Los primeros 10 s de cada ensayo se excluyeron del análisis por posibles efectos transitorios. El área de la elipse (EA, intervalo de confianza del 95%), que se considera un índice general de estabilidad postural [cuando se pide a los sujetos que permanezcan lo más quietos posible, cuanto menor sea la superficie, mejor será el rendimiento; (Paillard & Noé, 2015)], y la MV_{AP} y MV_{ML} , que caracterizan el control postural activo de los sujetos y reflejan la actividad neuromuscular requerida para mantener el equilibrio (Paillard & Noé, 2015), se calcularon a partir de los 40 s restantes de señal (Cabeza-Ruiz et al., 2011; Prieto et al., 1996). Los videos grabados durante las WMT se analizaron por un miembro del grupo de investigación. Se consideró que la cantidad de respuestas correctas fue el número de dígitos que se repetía correctamente y se usó como medida del rendimiento cognitivo.

4.3.2.5. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se usó la versión 21 del software SPSS (IBM, Chicago, IL). Se utilizaron pruebas no paramétricas, ya que la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la prueba de Levene verificaron que las tres variables (i.e., EA, MV_{AP} y la MV_{ML}) no cumplían con las suposiciones de normalidad ni de homocedasticidad. La mediana y el rango intercuartil se obtuvieron por métodos estadísticos estándar. La Anova de Friedman se utilizó para examinar el efecto de la dificultad de la WMT (i.e., 3, 5 y 7 dígitos) en las variables de estabilidad postural y rendimiento cognitivo. El seguimiento se realizó mediante múltiples pruebas de Dunn con corrección de Bonferroni. El efecto de la edad (i.e. 13, 14, 15 y 16 años) en la estabilidad postural y el rendimiento en la WMT se verificaron usando una prueba de Kruskal-Wallis. El seguimiento se llevó a cabo mediante múltiples pruebas Dunn con corrección de Bonferroni ($p < 0.05$). El tamaño del efecto de las diferencias se calculó (valor r) con valores < 0.3 , $0.3-0.5$ y > 0.5 , que se consideran que reflejan efectos pequeños, moderados y grandes, respectivamente.

4.3.3. Resultados

En relación al equilibrio, se encontró un efecto principal de la WMT en el EA ($\chi^2_3 = 16.86$; $p < 0.001$), en la MV_{AP} ($\chi^2_3 = 69.84$; $p < 0.001$), y en la MV_{ML} ($\chi^2_3 = 28.00$; $p < 0.001$). Las comparaciones por pares (ver Figura 14) mostraron que la estabilidad postural de los adolescentes era más alta en la ST, y que se requiere menos actividad postural que en la mayoría de las DT ($p < 0.01$). Es decir, el EA era más baja en la ST que en la DT, con condiciones de memoria de trabajo con 5 y 7 dígitos ($p < 0.003$). En la ST, la MV_{AP} y la MV_{ML} fueron más bajas que en la DT con una WMT de 3, 5 y 7 dígitos ($p < 0.001$). La magnitud del efecto de las diferencias fue de moderado a grande (ver Anexo 1). En términos de la dificultad de la DT propuesta, no se encontraron diferencias entre las condiciones de 3, 5 y 7 dígitos ($p > 0.05$).

En relación con el rendimiento cognitivo, un efecto principal de la dificultad de la WMT se encontró en el número de respuestas correctas ($\chi^2_3 = 185.86$; $p < 0.001$). Las comparaciones por pares mostradas en la Figura 14 revelan que el rendimiento cognitivo de 3 dígitos era más alto que con 5 y 7 dígitos ($p < 0.001$). El rendimiento cognitivo de 5 dígitos fue más alto que con 7 dígitos ($p < 0.001$). La magnitud del efecto de las diferencias fue pequeño o moderado.

Se encontró un efecto principal de la edad en el equilibrio en la ST (excluyendo la MV_{AP}) y la DT con 3, 5 y 7 dígitos (excluyendo la MV_{AP} en 7 dígitos) en la mayoría de las variables. Los adolescentes de dieciséis años mostraron un mayor control postural que algunos de los participantes más jóvenes (las comparaciones por pares se muestran en la Tabla 5). En cuanto al rendimiento cognitivo en las WMT de 5 dígitos, el rendimiento de los adolescentes de 14 años fue menor que el de los adolescentes de 16 años ($p < 0.05$). En la Tabla 5, se puede ver el rendimiento cognitivo similar en las WMT de 3 y 7 dígitos, independientemente de la edad.

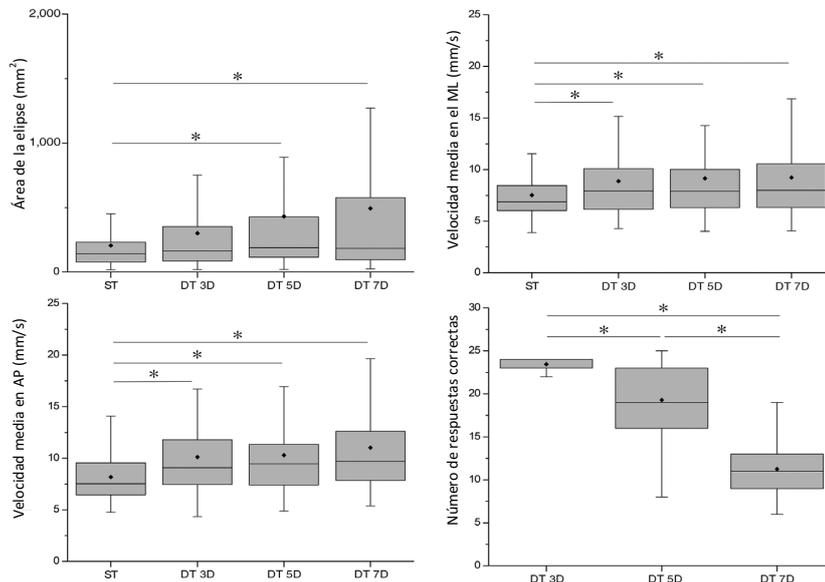


Figura 14: Diferencias en el control postural y el rendimiento cognitivo según la dificultad de la tarea de memoria de trabajo. Los cuadros grises representan los percentiles 25%-75% y las líneas negras dentro de los cuadros representan la mediana. El rombo negro indica el valor medio. ST = tarea simple; DT = tarea dual: 3D, 5D y 7D se refieren a la cantidad de dígitos de cada secuencia en cada condición en una tarea dual. AP = dirección anteroposterior y ML = dirección medio lateral. El número de respuestas correctas se refiere a la cantidad de números correctos que se han dicho. * Diferencias significativas entre las condiciones ($p < 0.05$).

Tabla 5

Descriptivos (mediana y rango intercuartil) en las variables de control postural y rendimiento cognitivo según el grupo de edad.

	13 años (n = 31)	14 años (n = 31)	15 años (n = 29)	16 años (n = 32)
EA ST	196.49 (204.37)*	196.96 (197.10)*	130.63 (146.12)	66.03 (100.99)
MV _{AP} ST	7.96 (3.89)	8.34 (3.38)	7.46 (3.17)	6.93 (2.11)
MV _{ML} ST	7.73 (2.63)*	7.11 (1.56)*	6.90 (1.85)	6.47 (1.62)
EA DT 3D	238.50 (308.62)*	184.88 (334.44)*	224.98 (240.37)*	85.77 (103.46)
MV _{AP} DT 3D	10.65 (5.20)*	9.94 (5.40)*	10.33 (4.08)	8.05 (2.45)
MV _{ML} DT 3D	8.93 (3.25)*	8.21 (3.38)*	8.70 (4.89)*	6.42 (1.74)

EA DT 5D	265.75 (373.52)*	241.45 (248.05)	160.93 (310.60)	108.64 (226.88)
MV _{AP} DT 5D	10.25 (4.39)*	10.18 (3.51)	8.96 (5.01)	8.43 (3.89)
MV _{ML} DT 5D	9.36 (2.90)*	8.29 (3.74)*	7.85 (3.67)	6.33 (2.36)
EA DT 7D	213.35 (523.52)	187.49 (742.72)	147.74 (436.12)	120.96 (335.08)
MV _{AP} DT 7D	10.45 (6.08)	11.25 (4.42)	9.44 (5.42)	8.69 (3.47)
MV _{ML} DT 7D	9.00 (4.29)*	8.43 (5.24)	7.37 (4.10)	6.98 (3.52)
Correctos 3D	24.00 (1.00)	24.00 (1.00)	24.00 (0.00)	24.00 (2.00)
Correctos 5D	19.50 (7.00)	17.00 (7.00)*	20.00 (5.00)	22.00 (5.00)
Correctos 7D	9.50 (5.00)	11.00 (4.00)	11.00 (3.00)	10.00 (7.00)

Nota. EA = área de la elipse, expresada en mm²; ST = tarea simple; MV_{AP} y MV_{ML} = velocidad media, expresada en mm/s, en direcciones anteroposterior y medio lateral, respectivamente; DT = tarea dual: 3D, 5D, y 7D se refieren a la cantidad de dígitos por secuencia dichos en condiciones de tarea dual. Correctos se refiere a la cantidad de números correctos dichos. * Diferencia significativa con respecto al grupo de 16 años en esta condición ($p < 0.05$).

La magnitud del efecto de estas diferencias en el equilibrio fue de moderado a grande (ver Tabla 6), mientras que fue moderado en el rendimiento cognitivo ($r = 0.3-0.5$). Se pueden observar otros tamaños de los efectos y los resultados estadísticos en el Anexo 1.

Tabla 6

Valor de la magnitud del efecto para cada comparación significativa por pares de la prueba de Kruskal-Wallis según el grupo de edad en condiciones de tareas simple y duales.

Condición	Comparación	W	p	r
ST	EA 13-16	35.88	0.001	0.50
	EA 14-16	37.01	0.001	0.50
	MV _{ML} 13-16	37.58	0.001	0.50
	MV _{ML} 14-16	25.27	0.029	0.36
DT 3D	EA 13-16	36.23	0.001	0.49
	EA 14-16	31.62	0.003	0.31
	EA 15-16	32.98	0.002	0.49

	MV _{AP} 13-16	25.96	0.023	0.34
	MV _{AP} 14-16	23.94	0.046	0.32
	MV _{ML} 13-16	39.63	0.001	0.56
	MV _{ML} 14-16	28.34	0.010	0.42
	EA 13-16	27.07	0.015	0.35
	MV _{AP} 13-16	25.45	0.028	0.34
DT 5D	MV _{ML} 13-16	39.11	0.001	0.56
	MV _{ML} 14-16	26.04	0.023	0.35
	Respuestas correctas 14-16	29.37	0.006	0.43
DT 7D	MV _{ML} 13-16	26.38	0.020	0.37

Nota. ST = tarea simple; DT = tarea dual: 3D, 5D, y 7D se refieren a la cantidad de dígitos por secuencia dichos en condiciones de tarea dual.; EA = área de la elipse, expresada en mm²; MV_{AP} y MV_{ML} = velocidad media, expresada en mm/s, en direcciones anteroposterior y medio lateral; 13 = adolescente de 13 años; 14 = adolescente de 14 años; 15 = adolescente de 15 años; 16 = adolescente de 16 años. Respuestas correctas se refiere a la cantidad de números correctos dichos.

4.3.4. Discusión

El propósito de este estudio fue examinar la estabilidad postural y la función cognitiva de acuerdo al incremento de dificultad de la WMT en función del grupo de edad, en una población de adolescentes. En la ST, los adolescentes mostraron una mayor estabilidad postural (i.e., menor EA) y menos actividad neuromuscular (i.e., en la MV_{AP} y MV_{ML}) que en la DT. Al contrario que Dault et al., (2001) y de acuerdo con Bustillo-Casero et al., (2017), independientemente de la dificultad de la WMT, los adolescentes presentaron un control postural similar en cada condición de DT (i.e., WMT con 3, 5 y 7 dígitos). Estos resultados muestran los efectos de una DT en el rendimiento de una WMT (Andersson et al., 2002). Realizar una tarea cognitiva y motora simultáneamente puede volverse en una problemática debido a que los recursos de un individuo se agotan (Schaefer, 2014). Algunos investigadores han encontrado que la capacidad de control postural de los adolescentes disminuye durante una DT (Gabbett et al., 2011), por lo que realizar una WMT y el control postural simultáneamente implica mayores demandas de atención que mientras se desarrolla una ST (Abernethy, 1993; Gabbett et al., 2011; Teel, Register-Mihalik, Troy

Blackburn, & Guskiewicz, 2013). En cuanto al efecto de la dificultad de la WMT sobre la cognición, encontramos que cuanto más fácil es la DT (i.e., una WMT de 3 dígitos) mejor será el rendimiento cognitivo. Por ejemplo, en la DT de 3 dígitos, los adolescentes lograron más respuestas correctas que con 5 y 7 dígitos. Además, con 5 dígitos, mostraron un mayor rendimiento cognitivo que con 7 dígitos. Teniendo en cuenta que el efecto de estas diferencias fue grande, es plausible que la capacidad de procesamiento central sea limitada y que debe dividirse entre las dos tareas simultáneas (Huang & Mercer, 2001), por el incremento de la dificultad de la WMT que afecta al rendimiento cognitivo en adolescentes (Gabbett et al., 2011; Teel et al., 2013).

El efecto de la edad sobre la estabilidad postural y el rendimiento cognitivo de los adolescentes en cada una de las condiciones progresivamente más difíciles (i.e., ST y DT con 3, 5 y 7 dígitos) puede proporcionar una idea de la evolución del control postural en condiciones con diferentes requisitos de atención. De acuerdo con Saxena et al., (2017), en tareas fáciles (i.e., ST y DT de 3 dígitos), se encontraron diferencias claras entre los grupos de edad, así los adolescentes más jóvenes muestran una menor estabilidad postural (i.e., EA) y requieren una mayor actividad postural (i.e., MV_{ML}) que los de 16 años. Parece que, durante la adolescencia, hay una continua evolución biológica y desarrollo que implica cambios en el tamaño corporal, la forma y la composición, que afectan al control postural (Palluel et al., 2010). Además, los cambios que aparecen en el control postural con la maduración durante la adolescencia parecen depender de la complejidad de la tarea propuesta (Best, Miller, & Jones, 2009).

En las DT complejas (WMT de 5 y 7 dígitos), y parcialmente en desacuerdo con Saxena et al. (2017), los jóvenes adolescentes (i.e., 13 años) presentaron menor estabilidad postural y una mayor actividad de ajustes posturales que los adolescentes de 16 años, con dificultades en DT similares a personas de 14, 15 y 16 años. Las WMT complejas (i.e., 5 y 7 dígitos) se vieron como un estímulo excesivo que llevan a los investigadores a no poder estudiar correctamente el efecto sobre el control postural de los adolescentes en las diferentes edades. Por lo tanto, en términos de análisis del

equilibrio en las DT, la secuencia de dificultad de la DT según la edad propuesta por Saxena et al., (2017) se puede personalizar de la siguiente manera: 13 años > 14-15 años > 16 años.

Cuando se analiza la cognición según la edad de los adolescentes en las DT progresivamente más difíciles, no se encontraron diferencias entre la DT más fácil y la más compleja (i.e., WMT de 3 y 7 dígitos ; Saxena et al., 2017). Curiosamente, en la tarea de 5 dígitos, los adolescentes de 14 años solamente mostraron un rendimiento más bajo que los de 16 años. Por lo tanto, cuando se extrapola la trayectoria general del desarrollo de la memoria de trabajo en adolescentes, es importante considerar la complejidad de la tarea (Best et al., 2009), por lo que se recomienda el uso de la WMT de dificultad media (5 dígitos) para análisis de funciones cognitivas.

En cuanto a la literatura existente que trata de explicar la relación entre las dificultades de las DT y el equilibrio, encontramos que los adolescentes no mantienen una estabilidad postural similar en las DT y ST, aunque se ha encontrado un equilibrio similar independientemente de la dificultad de la WMT. Por otra parte, el rendimiento cognitivo de los adolescentes disminuye a medida que la WMT se vuelve más compleja. De acuerdo con las habilidades limitadas de los adolescentes (Schaefer, 2014), a medida que aumentan los requisitos cognitivos, parece que estos no son capaces de mantener su rendimiento tanto en equilibrio como en cognición y tienden a priorizar el equilibrio en detrimento de la cognición. Estos resultados, por lo tanto, apoyan dos de las postulaciones teóricas antes mencionadas (Lacour et al., 2008), de modo que el modelo de competencia entre dominios y los modelos de priorización de tareas parecen explicar el efecto de las tareas duales en los adolescentes.

Cabe señalar que una limitación del estudio es que no se analizó el rendimiento cognitivo en la condición de ST. La inclusión de esta información podría ayudar a los investigadores a aclarar el modelo teórico propuesto para explicar las dificultades de las DT.

4.3.5. Conclusiones

Este estudio muestra la influencia del incremento de dificultad de una WMT en la estabilidad postural y el rendimiento cognitivo en adolescentes. A medida que aumentan los requisitos cognitivos, los adolescentes parecen no ser capaces de mantener su rendimiento en equilibrio y cognición y tienden a priorizar la estabilidad postural en detrimento de la cognición. También se encontró evidencias sobre la evolución positiva del control postural y la cognición durante la adolescencia.

4.4. ESTUDIO 3: Reponderación sensorial en posición bípeda en adolescentes

4.4.1. Introducción

El mantenimiento del equilibrio de pie se caracteriza por pequeñas y continuas adaptaciones alrededor de la vertical para preservar la estabilidad. Para la conservación de la estabilidad corporal, se requiere la integración coordinada de información de diferentes sistemas sensoriales involucrados en el control postural (i.e., la información visual, vestibular y propioceptiva y cutánea plantar). Usando esta información, el SNC envía los estímulos apropiados a los músculos involucrados en el control postural, principalmente en la cadera, rodilla y tobillo (Nashner, 2014).

Se han utilizado varios modelos conceptuales para explicar la integración multisensorial en el control postural y la orientación espacial (Jeka et al., 2000; Mahboobin et al., 2005; Oie et al., 2002; Peterka & Loughlin, 2004; van der Kooij et al., 2001). Algunos autores han sugerido que la integración de la información de estos sistemas sensoriales parece estar regulada dinámicamente para adaptarse a las condiciones ambientales cambiantes y a la información sensorial disponible, un proceso que a veces se denomina "reponderación sensorial" (Mahboobin et al., 2005; Oie et al., 2002; Peterka & Loughlin, 2004; van der Kooij et al., 2001). La integración de la información implica que el SNC detecta y pondera la información sensorial recibida de los diferentes sistemas, proporcionando el escenario más fiable y útil para mantener el equilibrio. Un concepto clave de este modelo es el "peso" de los sistemas sensoriales, que describe la preponderancia de la información de cada sistema para mantener el equilibrio (Mahboobin et al., 2008). Por ejemplo, sobre una superficie estable en posición bípeda y con los ojos cerrados, la fuente sensorial de información primaria de la orientación corporal en el espacio es proporcionada por el sistema propioceptivo. Cuando la condición cambia al mover la plataforma, la fuente primaria de información sensorial cambia a vestibular, de modo que la contribución de los sistemas sensoriales para mantener la estabilidad del cuerpo varía con las condiciones ambientales.

Con el fin de estudiar la contribución de los diferentes sistemas sensoriales en la regulación postural, se han utilizado habitualmente las perturbaciones sensoriales. La

perturbación o restricción de uno o varios sistemas sensoriales afecta a la contribución del resto de los sistemas.

Por ejemplo, cuando la visión normal se ve perturbada o restringida, el balanceo del cuerpo tiende a aumentar (Lee & Aronson, 1974). Otra condición ambiental que podría afectar la estabilidad postural es el sonido. Aunque el número de estudios publicados en este campo es limitado, hay hallazgos que sugieren que el sonido influye en el sistema vestibular debido a su relación con los órganos de Corti (en el oído interno) y por el octavo nervio craneal, que es responsable de la transmisión de impulsos neuronales relacionados con los sistemas vestibular y auditivo (Bordoni et al., 2019). Además, dado que el entorno del fluido vestibular se comparte entre el órgano auditivo final y el sistema vestibular, estos también se ven afectados por intensas ondas acústicas. En este sentido, Golz et al., (2001), observaron que los sonidos intensos causaron alteraciones en el sistema vestibular. Finalmente, la alteración propioceptiva se ha estudiado principalmente mediante la perturbación de sensores miotáticos y tendinosos. La vibración del tendón es una de las técnicas más utilizadas para alterar el complejo miotendinoso, lo que resulta en la modificación de la orientación del cuerpo (Ceyte et al., 2007; Thompson et al., 2007).

La dependencia atribuida a los sistemas sensoriales en un contexto de condiciones sensoriales perturbadas también varía con la edad (por ejemplo, niños o adolescentes) (Polastri & Barela, 2013). Los niños dependen en gran medida del sistema visual para mantener la estabilidad del cuerpo (Lee & Aronson, 1974; Lishman & Lee, 1973). Esta preponderancia se reduce progresivamente a medida que se desarrolla el sistema propioceptivo durante la infancia y la adolescencia (Barela et al., 2009; Godoi & Barela, 2008). De hecho, diferentes estudios (Lee & Aronson, 1974; Lishman & Lee, 1973; Riach & Hayes, 1987; Rival et al., 2005a; Woollacott, Debû, & Mowatt, 1987) han sugerido que los niños menores de siete años son incapaces de integrar adecuadamente la información sensorial de los diferentes sistemas. Por lo tanto, el control postural se basa principalmente en información visual (incluso después de la primera década de vida) debido al hecho de que los niños no utilizan principalmente señales propioceptivas para estabilizar la postura (Godoi & Barela, 2008; Peterson

et al., 2006; Sparto et al., 2006). Sin embargo, Polastri y Barela (2013) encontraron capacidades de reponderación sensorial similares en niños de 12 años que en adultos jóvenes al perturbar la información visual. Estos resultados sugieren que el desarrollo de los sistemas sensoriales involucrados en el control postural se completa en la adolescencia temprana.

Desafortunadamente, el cambio que ocurre en los sistemas sensoriales responsables de mantener el control postural en posición de reposo desde la adolescencia temprana hasta la edad adulta no se ha estudiado en profundidad. Existe una falta de conocimiento sobre el desarrollo de la capacidad de reponderación sensorial durante la adolescencia en condiciones en las que la información sensorial visual, vestibular, propioceptiva y cutánea está cambiando. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue estudiar el desarrollo de cada sistema sensorial del control postural y la función de reponderación en posición bípeda cuando la información sensorial se perturba o restringe en adolescentes.

4.4.2. Métodos

4.4.2.1. Participantes

Se ha utilizado un diseño transversal y prospectivo entre sujetos para establecer las diferencias en la reponderación sensorial en adolescentes de diferentes edades. Utilizando un método de muestreo no probabilístico, ciento cincuenta y tres adolescentes de 13 a 17 años fueron elegidos para participar en el estudio y divididos en 5 grupos de edad. Los criterios de inclusión fueron: i) entre 13 y 17 años (ambos inclusive) y ii) ausencia de cualquier patología de control motor. Las características de los sujetos en los grupos se muestran en la Tabla 7.

Se obtuvo por parte del Comité de Ética de la Universidad de Valencia la aprobación para realizar el estudio. Los protocolos utilizados cumplieron con todos los requisitos establecidos en la Declaración de Helsinki de 1964 y en las revisiones posteriores. Todos los adolescentes participaron voluntariamente en este estudio con el consentimiento firmado de sus padres.

Tabla 7

Características de los participantes.

Variable	13 años (n=30)	14 años (n=30)	15 años (n=31)	16 años (n=31)	17 años (n=31)
Sexo					
Chicos	15	15	15	15	16
Chicas	15	15	16	16	15
Peso (kg)	58.11(2.26)	59.55 (2.27)	61.69 (1.98)	62.40 (1.87)	62.44 (3.15)
Altura (cm)	161.50 (1.36)	165.10 (1.66)	168.79 (1.88)	168.00 (1.55)	165.00 (5.83)
IMC (kg/m ²)	22.09 (0.62)	21.67 (0.51)	21.53(0.46)	22.01 (0.46)	22.06 (0.57)
IMC (Percentil)	75.15 (3.68)	69.37 (3.55)	62.90 (4.14)	61.72 (3.84)	50.90 (4.78)

Los datos se expresan como media (SEM), excepto para el sexo en el que se informa el número de niños y niñas en cada grupo. IMC = índice de masa corporal.

4.4.2.2. Procedimiento

Las señales del CoP fueron adquiridas con una WBB. Este dispositivo ha sido validado como un buen instrumento para analizar el control postural en la posición de pie en adultos (Clark et al., 2010; Park & Lee, 2014) y niños (Larsen et al., 2014). Los datos sin procesar se adquirieron utilizando el software WiiLab (Universidad de Colorado Boulder, Colorado, EEUU) para Matlab R2015 (Mathworks Inc, Natick, EEUU). La WBB se colocó en una superficie estable en el suelo. Las señales de datos se registraron a una frecuencia de 40 Hz.

Todos los adolescentes fueron evaluados en el instituto que asisten a clase. Durante las mediciones, los adolescentes tuvieron que permanecer descalzos, en posición bípeda, lo más quietos posible y con los brazos relajados durante 50 segundos. Esta posición se repitió en tres condiciones diferentes. Los pies estaban paralelos y separados por una distancia igual al ancho de los hombros. Un investigador verificó que se usara la misma posición en cada ensayo. La duración total de cada condición se dividió en tres bloques sin descansos intermedios. El orden de las condiciones fue aleatorio entre los sujetos. A continuación, se proporciona una descripción detallada de la perturbación/restricción sensorial y estas pruebas se han utilizado en base al manuscrito de Paillard y Noé (2015):

i) Condición de pie en reposo y con una restricción visual: el primer bloque de la prueba, se realizó de pie con los ojos abiertos y tuvo una duración de veinte segundos. En el segundo bloque, los ojos se cerraron durante quince segundos. Finalmente, los ojos estuvieron abiertos durante los últimos quince segundos de la prueba (i.e., el Bloque 3).

ii) Condición de pie en reposo y con perturbación vestibular: el primer bloque de la prueba tuvo una duración de veinte segundos, y se realizó de pie con los ojos abiertos y sin ruido. En el segundo bloque, el sujeto escuchó un ruido blanco a través de los auriculares a una intensidad de 90 dB. En los últimos quince segundos de la prueba no hubo ruido (i.e., Bloque 3).

iii) Condición de pie en reposo y con una perturbación propioceptiva: el primer bloque de la prueba duró veinte segundos y los sujetos estaban de pie con los ojos abiertos. En el segundo bloque, se aplicó una vibración mecánica (85 Hz y una amplitud de 1 mm) a ambos tendones de Aquiles (Billot et al., 2015). En los últimos quince segundos de la prueba no se aplicó vibración (i.e., el Bloque 3).

4.4.2.3. Análisis de datos

Las señales de desplazamiento del CoP en las direcciones ML y AP se filtraron en doble paso mediante un filtro de paso bajo Butterworth con una frecuencia de corte de 12 Hz. Como se había informado anteriormente sobre periodos transitorios hasta la estabilidad (Raymakers et al., 2005), los primeros 5 segundos de cada ensayo se excluyeron del análisis. Las señales se segmentaron en tres bloques de quince segundos (i.e., sin perturbación/restricción sensorial, perturbación/restricción sensorial y restauración de las condiciones iniciales). Para cada bloque, la velocidad media en las direcciones MV_{AP} y MV_{ML} y el EA con un intervalo de confianza del 95% se calcularon usando las ecuaciones propuestas por Prieto et al., (1996). El EA indica el tamaño del área generada por el desplazamiento de la CoP en la plataforma durante la prueba. Es un índice del rendimiento postural general (Paillard & Noé, 2015). La MV refleja la actividad neuromuscular necesaria para mantener la posición bípeda de pie (Paillard & Noé, 2015).

4.4.2.4. Análisis estadístico

Se utilizó el software SPSS Versión 21 (SPSS Inc., Chicago, IL, EEUU) para el análisis estadístico. Se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para analizar la distribución de las variables. Se utilizaron métodos estadísticos estándar para obtener la media como medida de la tendencia central y la desviación estándar como medida de dispersión. Para cada condición de equilibrio, se aplicó un modelo mixto MANOVA [grupos (5 edades) y bloques (3 condiciones)] para establecer los efectos de la perturbación/restricción y de la edad en las variables dependientes. El seguimiento del contraste multivariado se realizó mediante contraste univariado para determinar en qué variables dependientes (i.e., EA y MV en direcciones AP y ML) influyeron los factores independientes (edad y bloques). Se utilizó eta cuadrado parcial como el tamaño del efecto de los contrastes multivariados y univariados. Cuando los contrastes univariados mostraron efectos principales o de interacción estadísticamente significativos, se realizaron comparaciones por parejas usando la corrección de Bonferroni. Esta corrección se aplicó en todos los resultados. Se aceptó un valor de $p=0.05$ como nivel de significancia para todos los análisis estadísticos.

4.4.3. Resultados

4.4.3.1. Restricción de la información visual

Se encontraron efectos principales del bloque ($F_{6,143} = 31.56$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.57$) y del grupo ($F_{12,444} = 3.79$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.09$) en las variables de control postural. Los contrastes univariados mostraron un efecto significativo del bloque en el EA ($F_{2,296} = 10.39$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.07$), la MV_{AP} ($F_{2,296} = 114.13$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.43$) y la MV_{ML} ($F_{2,296} = 8.77$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.06$). La variable grupo tuvo un efecto significativo en el EA ($F_{4,148} = 9.01$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.2$), la MV_{AP} ($F_{4,148} = 3.34$, $p = 0.012$, $\eta_p^2 = 0.08$) y la MV_{ML} ($F_{4,148} = 8.0$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.18$). Las comparaciones por parejas se presentan en las tablas 8 y 9.

Tabla 8

Diferencias entre bloques en posición bípeda con restricción de la información visual.

	Bloque 1 (ojos abiertos)	Bloque 2 (ojos cerrados)	Bloque 3 (ojos abiertos)
EA (mm ²)	111.64 (108.16)*	153.18 (143.95)	109.02 (124.88)*
MV_{AP} (mm/s)	8.25 (2.49)*	10.89 (3.67)	8.19 (2.21)*
MV_{ML} (mm/s)	7.27 (2.45)*	7.85 (2.63)	7.13 (2.69)*

*EA = área de la elipse; MV_{AP} = velocidad media antero-posterior; MV_{ML} = velocidad media medio-lateral. * indica diferencias significativas ($p < 0.05$) con el Bloque 2.*

Tabla 9

Diferencias entre grupos en posición bípeda con restricción de la información visual.

	EA (mm ²)	MV_{AP} (mm/s)	MV_{ML} (mm/s)
13 años	166.38 (139.99)	9.96 (3.22)	8.84 (3.29)
14 años	185.50 (184.45)	9.71 (2.98)	8.01 (2.88)
15 años	115.90 (87.48)†	9.32 (2.97)	7.47 (2.08)
16 años	73.40 (61.70)*†	8.11 (1.84)*	6.26 (1.38)*†
17 años	85.20 (56.56)*†	8.50 (2.34)	6.58 (1.85)*

*EA = área de la elipse; MV_{AP} = velocidad media antero-posterior; MV_{ML} = velocidad media medio-lateral. * Indica diferencias significativas ($p < 0.05$) con el grupo de 13 años. † indica diferencias significativas ($p < 0.05$) con el grupo de 14 años.*

4.4.3.2. Alteración de la información vestibular

Con respecto a la posición bípeda en reposo con alteración de la información vestibular, se encontró un efecto principal del grupo ($F_{12,444} = 3.07$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.08$) en las variables de control postural. Los contrastes univariados revelaron un efecto principal del grupo en el EA ($F_{4,148} = 4.6$, $p = 0.002$, $\eta^2_p = 0.11$), la MV_{AP} ($F_{4,148} = 3.01$, $p = 0.02$, $\eta^2_p = 0.07$) y la MV_{ML} ($F_{4,148} = 6.67$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.15$). Las

comparaciones por parejas se muestran en la Figura 15, así como los datos descriptivos de las variables de control postural en los tres bloques.

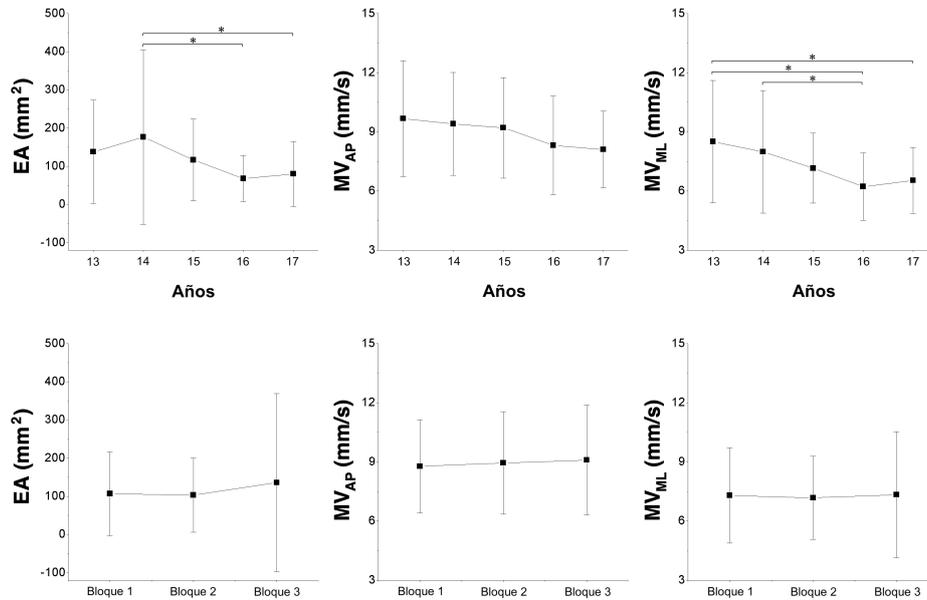


Figura 15: Diferencias entre grupos y bloques en posición bípeda en la condición de perturbación de la información vestibular. Los cuadrados representan la media y las barras de error la desviación estándar de la media. EA = área de la elipse; MV_{AP} = velocidad media en la dirección antero-posterior; MV_{ML} = velocidad media en la dirección medio-lateral. * Indica diferencias significativas ($p < 0.05$).

4.4.3.3. Perturbación de la información propioceptiva

Durante la posición de reposo con perturbación de la información propioceptiva, se encontraron los efectos principales del bloque ($F_{6,143} = 57.77$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.71$) y el grupo ($F_{12,444} = 3.37$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.08$) en las variables de control postural. También se encontró un efecto de interacción entre el grupo y el bloque ($F_{24,584} = 1.54$, $p = 0.049$, $\eta^2_p = 0.06$). Los contrastes univariados se informan en la Tabla 10. Las comparaciones por pares revelaron valores del EA más altos en el bloque 2 que los bloques 1 ($p < 0.001$) y 3 ($p < 0.001$), valores más bajos de MV_{AP} en el bloque 1 que en los bloques 2 ($p < 0.001$) y 3 ($p < 0.001$) y valores más altos en el bloque 2 que en el bloque 3 ($p < 0.001$). Por último, se encontraron valores de MV_{ML} más altos en el

bloque 2 que en los bloques 1 ($p < 0.001$) y 3 ($p < 0.001$). En referencia al grupo de edad, las comparaciones por parejas mostraron valores del EA más altos en niños de 13 y 14 años que en los de 16 años ($p < 0.05$), y valores del EA también más altos en niños de 13 que en los de 17 años ($p < 0.01$). Se observó un valor de MV_{AP} más bajo en 16 y 17 años que 13 ($p < 0.01$) y 14 años ($p < 0.05$). En la variable MV_{ML} , los niños de 13 años mostraron valores superiores a los de 15 ($p < 0.05$), los de 16 y los de 17 años ($p < 0.01$). Finalmente, como se muestra en la Tabla 10, solo hay diferencias significativas en la interacción entre el bloque y el grupo de edad en la variable MV_{AP} , cuyas comparaciones por parejas se pueden ver en las Figuras 16 y 17.

Tabla 10

Efectos univariados del bloque y grupo de edad sobre las variables de control postural durante la posición bípeda con perturbación de la información propioceptiva

Efecto	Variable	Grado de libertad	Valor F	Valor p	η^2_p
Bloque	EA (mm ²)	2; 296	13.8	<0.001	0.85
	MV_{AP} (mm/s)	2; 296	103.1	<0.001	0.41
	MV_{ML} (mm/s)	2; 296	84.4	<0.001	0.36
Grupo de edad	EA (mm ²)	4; 148	5.19	0.001	0.12
	MV_{AP} (mm/s)	4; 148	5.95	<0.001	0.14
	MV_{ML} (mm/s)	4; 148	7.88	<0.001	0.18
Bloque x Grupo de edad	EA (mm ²)	8; 296	1.4	0.2	0.03
	MV_{AP} (mm/s)	8; 296	2.5	0.01	0.06
	MV_{ML} (mm/s)	8; 296	1.5	0.16	0.04

EA = área de elipse; MV_{AP} = velocidad media en la dirección antero-posterior; MV_{ML} = velocidad media en la dirección medio-lateral.

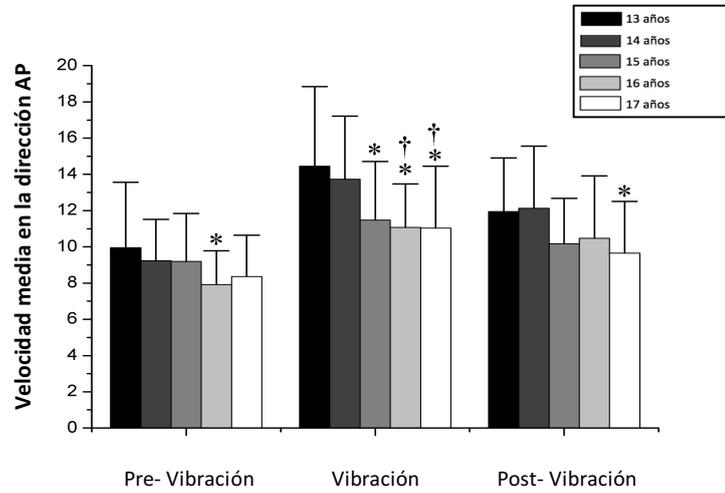


Figura 16: Diferencias entre grupos en los tres bloques en posición de pie bípeda con alteración de la información propioceptiva. Las barras representan la media y la barra de error la desviación estándar de la media. AP = anteroposterior. * Indica diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto a los niños de 13 años. † Indica diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto a los niños de 14 años.

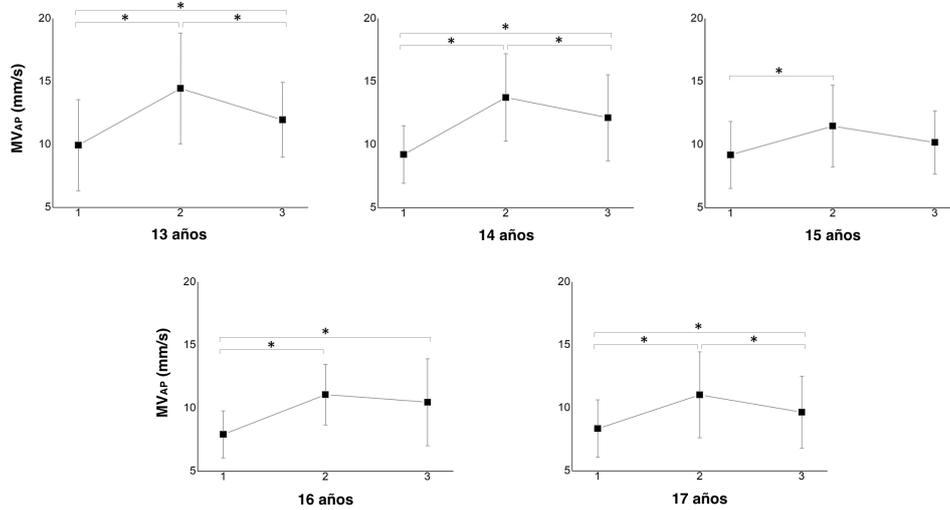


Figura 17: Diferencias entre bloques en cada grupo en posición de pie bípeda con alteración de la condición de información propioceptiva. Los cuadrados representan la media y las barras de error la desviación estándar de la media. MV_{AP} = velocidad media en dirección anteroposterior. * Indica diferencias significativas ($p < 0.05$).

4.4.4. Discusión

El objetivo principal de este estudio fue determinar las diferencias en los sistemas sensoriales de reponderación relacionados con el control postural durante la adolescencia (i.e., entre los 13 y los 18 años) a través del análisis de las señales de CoP. En primer lugar, nuestros resultados encontraron un control postural muy diferente entre sujetos de 13 a 14 años y adolescentes mayores. Además, se encontró un cambio crítico en la reponderación sensorial durante la postura bípeda con la perturbación de la información propioceptiva (i.e., vibración en los tendones de Aquiles) a los 15 años.

Con respecto a la situación de restricción visual, los resultados indicaron que las variables de control postural se redujeron con la edad, lo que coincide con que, a medida que los adolescentes maduran, su control del equilibrio es más similar al control postural de los adultos (Micarelli, Viziano, Augimeri, Micarelli, & Alessandrini, 2019). En el presente estudio, la edad de 15 años parece ser un punto de inflexión en la mejora del equilibrio. De hecho, después de esta edad, los resultados indicaron que el EA fue menor para el grupo de mayor edad que para el grupo de 14 años. Además, hubo diferencias entre los bloques (ojos abiertos y ojos cerrados) en todas las edades, tanto en estabilidad postural como en el control postural. Este resultado está en línea con los de estudios previos en los que se encontró una estabilidad postural más baja (Hatzitaki et al., 2002) y un control postural más bajo (Riach & Hayes, 1987) con los ojos cerrados que con los ojos abiertos. Sin embargo, la restricción de la información visual afecta a los adolescentes por igual, independientemente de la edad evaluada. Los resultados indican que los adolescentes más jóvenes tenían una estabilidad postural más baja y básicamente empleaban una mayor velocidad de CoP, lo que los llevó a realizar desplazamientos más grandes y más rápidos de la posición del CoP que los adolescentes mayores para mantener el equilibrio. Los adolescentes mayores presentaron un área de elipse más pequeña y una velocidad media menor de los desplazamientos del CoP. Estos resultados están en línea con estudios previos, que han corroborado que la maduración del control

postural no se observa hasta alrededor de los 15 años, tanto en la condición de ojos abiertos como cerrados (Micarelli et al., 2019).

Con respecto a la perturbación de la información vestibular, encontramos resultados muy similares, lo que indica que los grupos de 16 y 17 años presentaron mejor control postural y/o estabilidad que los de 13 y 14 años, lo que indica una mejora en el equilibrio con la edad, pero no se sabe si esta mejora se debe al desarrollo del sistema vestibular o al desarrollo de las personas debido al crecimiento durante la adolescencia. Los resultados indicaron que la perturbación del sistema vestibular (utilizando ruido blanco) no afectó la capacidad de mantener la estabilidad postural durante la adolescencia. Otros autores han encontrado resultados similares (Gandemer, Parseihian, Kronland-Martinet, & Bourdin, 2014), en los que un estímulo auditivo estacionario de 83 dB no influyó en el control postural en adultos. Borel y Ribot-Ciscar (2016), sugieren que el sistema vestibular desempeña un papel menor en el logro del control postural en la posición estática bípeda de pie en sujetos sanos. La falta de diferencias entre bloques podría explicarse por este papel menos importante en la tarea postural. Además, la forma de presentar el sonido influye en el equilibrio; los cambios en la intensidad y frecuencia del sonido (Park et al., 2011) o sus características de movimiento (i.e., fuente de sonido estacionaria o giratoria) (Gandemer et al., 2014) influyen en el control postural. Además, la presencia y ausencia de sonido durante las tareas en las que los adultos estaban con los ojos cerrados generó diferencias en el equilibrio (Tanaka, Kojima, Takeda, Ino, & Ifukube, 2001; Welgampola & Colebatch, 2001). Adicionalmente, las diferencias interpersonales (e.g., estado de actividad física: activo o no activo) pueden influir en las respuestas posturales a la perturbación vestibular (Maitre & Paillard, 2016). Por lo tanto, es probable que las características de la tarea postural y las dificultades en las condiciones propuestas no sean lo suficientemente exigentes como para provocar cambios en adolescentes sanos.

Con respecto a la perturbación del sistema propioceptivo, los resultados indicaron que el control postural y la estabilidad pueden ser alterados por los estímulos de vibración. Como algunos autores observaron previamente, la aplicación de estímulos de

vibración aumenta tanto la elipse como la velocidad media del CoP (Ajrezo, Wiener-Vacher, & Bucci, 2013; Barozzi et al., 2014; Faigenbaum et al., 2014). En el presente estudio, cuando se aplicaron estímulos vibratorios, los adolescentes más jóvenes (de 13 y 14 años) presentaron valores más altos en valores de MV_{AP} que los de 16 y 17 años. Como hemos comentado anteriormente, nuestros resultados sugirieron la existencia de una fase de transición, alrededor de los 15 años, en el desarrollo del control postural (Hirabayashi & Iwasaki, 1995). Se pueden sugerir tres explicaciones para aclarar estas diferencias posturales: en primer lugar, los adolescentes fortalecen y aumentan el tamaño de sus músculos y tendones a medida que crecen, y la fuerza muscular y el volumen de las articulaciones de las extremidades inferiores están altamente y positivamente correlacionados con la estabilidad (Onambele, Narici, & Maganaris, 2006). En segundo lugar, otra explicación podría estar vinculada a los cambios en las estrategias posturales de los adolescentes más mayores, ya que pueden haber cambiado su estrategia para utilizar otra más eficiente que los participantes más jóvenes (Brumagne, Cordo, & Verschueren, 2004). En tercer lugar, otra explicación plausible es que los adolescentes más mayores pueden usar otros sistemas sensoriales que los sujetos más jóvenes para resistir la perturbación propioceptiva y así reducir la influencia de la información propioceptiva errónea.

Los resultados sugieren que los adolescentes no alcanzan la reponderación sensorial similar a la de los adultos hasta los 15 años de edad, en condiciones donde la información propioceptiva se perturba. Este hallazgo está en línea con otros estudios, como por ejemplo Godoi y Barela (2008), quienes indicaron que los adultos hacen un mejor uso de los estímulos sensoriales y una mejor integración del SNC que los niños, lo que permite a los niños mejorar su estabilidad postural. Las mejoras en el control postural pueden deberse en parte a la mejora de la capacidad sensorial de reponderación. La capacidad de compensar y reponderar las recepciones sensoriales se desarrollan después de los 11 años (Cuisinier, Olivier, Vaugoyeau, Nougier, & Assaiante, 2011) con un período de estabilización alrededor de los 15 años (Cuisinier et al., 2011; Peterka & Black, 1990). Aun así, todavía se desconoce la razón de este cambio en el control postural entre adolescentes y adultos. Según Assaiante y Amblard (1995), los niños de alrededor de 7-8 años comienzan a usar las mismas

estrategias de control de equilibrio que los adultos. Por lo tanto, la diferencia de control postural entre las edades durante la adolescencia podría no deberse a estrategias posturales. Algunos factores que podrían afectar son la posible diferencia en el uso de los sistemas sensoriales, la fuerza y la coordinación muscular (Groselj, Osredkar, Sember, & Pajek, 2019), ya que estos son mayores a medida que la persona se desarrolla.

En cuanto a las limitaciones del estudio, el uso de ruido blanco para perturbar la información vestibular no produjo cambios en el control postural de los adolescentes. Por lo tanto, los estudios futuros deberían utilizar otros métodos como estimulaciones galvánicas para determinar el efecto de la perturbación de la información vestibular en el control postural y la reponderación sensorial. Otra limitación encontrada en este estudio es la alteración diferente de los sistemas. Mientras que el sistema visual estaba completamente restringido por los ojos cerrados, los sistemas vestibular y propioceptivo estaban presentes y perturbados (agregando ruido o vibración). Esta diferencia podría influir en los resultados, por lo que recomendamos que en el futuro se estudie la nueva ponderación con el mismo grado de restricción o perturbación de los sistemas. Además, futuros estudios podrían considerar cada bloque en períodos de tiempo más cortos para analizar el tiempo empleado para estabilizarse después de una perturbación/restricción sensorial. También sería interesante aumentar el rango de edad de los sujetos para establecer el período en el que se desarrolla completamente la reponderación sensorial en condiciones con restricción visual o perturbación vestibular. Finalmente, las condiciones que incluyan la perturbación de dos recursos de información sensorial podrían ser interesantes para estudiar más a fondo el desarrollo de la reponderación sensorial durante la adolescencia.

4.4.5. Conclusiones

Los adolescentes de 13-14 años mostraron una peor estabilidad postural que los adolescentes más mayores en condiciones de perturbación de la información propioceptiva, lo que puede indicar una disminución de la eficacia de reponderación sensorial y que el sistema de reponderación sensorial se estabiliza alrededor de los 15

años. Además, se confirma una maduración de la aferencia visual en el equilibrio postural alrededor de los 15-16 años.

5. CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal el estudio del desarrollo del control postural, con la finalidad de analizar la influencia de la realización de una tarea dual y de la restricción de la información sensorial sobre el control postural en adolescentes. Además de estudiar la influencia de la edad (adolescentes de 13 a 18 años) y el sexo sobre los aspectos mencionados.

A continuación, se enumeran las conclusiones que se derivan de los resultados obtenidos para, de este modo, dar respuesta a los objetivos e hipótesis planteadas en este proyecto de investigación.

C1: En primer lugar, respecto al desarrollo del control postural basándonos en los resultados obtenidos, en la prueba unipodal los adolescentes de 14 años mostraron valores más elevados en la variable EA que el grupo de 16 años. En esta misma prueba las chicas presentaron un mejor control postural que los chicos, aspecto que puede deberse a una etapa madurativa más avanzada, dotándoles de una mayor coordinación motora.

C2: Basándonos en los resultados obtenidos, a medida que aumentan los requisitos cognitivos los adolescentes parecen no ser capaces de mantener su rendimiento en equilibrio y cognición, por lo que tienden a priorizar la estabilidad postural en detrimento de la cognición. Mostrando los adolescentes de 16 años un mayor control postural en comparación con el resto de adolescentes, y un rendimiento cognitivo superior en las DT con 5 dígitos, en comparación con los de 14 años.

C3: Los resultados obtenidos reflejan que los adolescentes de 13 a 14 años tienen una estabilidad y control postural peor que los adolescentes mayores, en condiciones donde hay una manipulación de la información propioceptiva. Aspecto que puede indicar una menor reponderación sensorial. Encontrando una maduración de la aferencia visual en el equilibrio postural alrededor de los 15-16 años.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Abernethy B. (1988). Dual-task methodology and motor skills research: Some applications and methodological constraints—UQ eSpace. Recuperado 30 de agosto de 2018, de <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:276056>
- Abernethy, B. (1993). *Attention*. In, RN Singer, M. Murphey, & LK Tennant (Eds.) *Handbook of research on sport psychology* (pp. 127-170). New York: Macmillan.
- Ajrezo, L., Wiener-Vacher, S., & Bucci, M. P. (2013). Saccades Improve Postural Control: A Developmental Study in Normal Children. *PLoS ONE*, 8(11). doi: 10.1371/journal.pone.0081066
- Alessandrini, M., D'Erme, G., Bruno, E., Napolitano, B., & Magrini, A. (2003). Vestibular compensation: Analysis of postural re-arrangement as a control index for unilateral vestibular deficit. *Neuroreport*, 14(7), 1075-1079. doi: 10.1097/01.wnr.0000070827.57864.49
- Alexander, K. M., & LaPier, T. L. (1998). Differences in Static Balance and Weight Distribution Between Normal Subjects and Subjects With Chronic Unilateral Low Back Pain. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 28(6), 378-383. doi: 10.2519/jospt.1998.28.6.378
- Allum, J. H. J., Bloem, B. R., Carpenter, M. G., Hulliger, M., & Hadders-Algra, M. (1998). Proprioceptive control of posture: A review of new concepts. *Gait & posture*, 8(3), 214–242.
- Alves, R. F., Rossi, A. G., Pranke, G. I., & Lemos, L. F. C. (2013a). Influence of gender in postural balance of school age children. *Revista CEFAC*, 15(3), 528-537. doi: 10.1590/S1516-18462012005000070
- Al-Yahya, E., Dawes, H., Smith, L., Dennis, A., Howells, K., & Cockburn, J. (2011). Cognitive motor interference while walking: A systematic review and meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(3), 715-728. doi: 10.1016/j.neubiorev.2010.08.008
- Amblard, B., Assaiante, C., Fabre, J.-C., Mouchnino, L., & Massion, J. (1997). Voluntary head stabilization in space during oscillatory trunk movements in the frontal plane performed in weightlessness. *Experimental Brain Research*, 114(2), 214-225. doi: 10.1007/PL00005630
- Amiridis, I. G., Hatzitaki, V., & Arabatzi, F. (2003). Age-induced modifications of static postural control in humans. *Neuroscience Letters*, 350(3), 137-140. doi: 10.1016/S0304-3940(03)00878-4

Referencias bibliográficas

- Andersson, G., Hagman, J., Talianzadeh, R., Svedberg, A., & Larsen, H. C. (2002). Effect of cognitive load on postural control. *Brain Research Bulletin*, 58(1), 135-139. doi: 10.1016/S0361-9230(02)00770-0
- Apolo, A. M. D. (2016). *Análisis y valoración del control postural mediante indicadores basados en acelerometría: Propuesta de aplicación en hipoterapia* ([Http://purl.org/dc/dcmitype/Text](http://purl.org/dc/dcmitype/Text), Universidad de Extremadura). Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=52315&info=resumen&idioma=ENG>, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=52315&info=resumen&idioma=SPA>
- Assaiante, C., & Amblard, B. (1993). Ontogenesis of head stabilization in space during locomotion in children: Influence of visual cues. *Experimental Brain Research*, 93(3), 499-515. doi: 10.1007/BF00229365
- Assaiante, C., & Amblard, B. (1995). An ontogenetic model for the sensorimotor organization of balance control in humans. *Human Movement Science*, 14(1), 13-43. doi: 10.1016/0167-9457(94)00048-J
- Assaiante, C. (1998). Development of locomotor balance control in healthy children. *Neuroscience & biobehavioral reviews*, 22(4), 527-532.
- Assaiante, C., Mallau, S., Viel, S., Jover, M., & Schmitz, C. (2005). Development of Postural Control in Healthy Children: A Functional Approach. *Neural Plasticity*, 12(2-3), 109-118. doi: 10.1155/NP.2005.109
- Asseman, F., Caron, O., & Crémieux, J. (2004). Is there a transfer of postural ability from specific to unspecific postures in elite gymnasts? *Neuroscience Letters*, 358(2), 83-86. doi: 10.1016/j.neulet.2003.12.102
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes1. En *Psychology of learning and motivation* (Vol. 2, pp. 89-195). Elsevier.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The Control of Short-Term Memory. *Scientific American*, 225(2), 82-91.
- Avalos, M. V. de, & Velasquez, M. (2000). *Comprensión lectora: Dificultades estratégicas en resolución de preguntas inferenciales*. Ediciones Colihue SRL.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1-29. doi: 10.1146/annurev-psych-120710-100422
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1994). Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology*, 8, 485-493.
-

- Baddeley, A. (1986). *Working memory*. New York, NY, US: Clarendon Press/Oxford University Press.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556–559.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. En G. H. Bower (Ed.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 8, pp. 47-89). doi: 10.1016/S0079-7421(08)60452-1
- Baddeley, A. D., & Sala, S. D. (1996). Working memory and executive control. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 351(1346), 1397-1404. doi: 10.1098/rstb.1996.0123
- Banyard, P. (1995). *Introducción a los procesos cognitivos*. Ariel.
- Bañuelos, F. S. (1986). *Bases para una didáctica de la educación física y el deporte*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=586417>
- Baratto, L., Morasso, P. G., Re, C., & Spada, G. (2002). A New Look at Posturographic Analysis in the Clinical Context: Sway-Density versus Other Parameterization Techniques. *Motor Control*, 6(3), 246-270. doi: 10.1123/mcj.6.3.246
- Barela, A. M., Barela, J. A., Rinaldi, N. M., & de Toledo, D.R. (2009). Influence of imposed optic flow characteristics and intention on postural responses. *Motor Control*, 13(2), 119-129. doi: 10.1123/mcj.13.2.119
- Barozzi, S., Socci, M., Soi, D., Di Berardino, F., Fabio, G., Forti, S., ... Cesarani, A. (2014). Reliability of postural control measures in children and young adolescents. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 271(7), 2069-2077. doi: 10.1007/s00405-014-2930-9
- Bell, F. (1998). *Principles of Mechanics and Biomechanics*. Nelson Thornes.
- Bermejo, J. L. (2015). *Efecto del estrés inducido por el ejercicio físico puntual sobre el rendimiento cognitivo en militares* ([Http://purl.org/dc/dcmitype/Text](http://purl.org/dc/dcmitype/Text), Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir). Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=118023>
- Bernard-Demanze, L., Dumitrescu, M., Jimeno, P., Borel, L., & Lacour, M. (2009). Age-related changes in posture control are differentially affected by postural and cognitive task complexity. *Current aging science*, 2(2), 135–149.
- Berthoz, A., Lacour, M., Soechting, J. F., & Vidal, P. P. (1979). The Role of Vision in the Control of Posture During Linear Motion. En R. Granit & O. Pompeiano (Eds.), *Progress in Brain Research* (pp. 197-209). doi: 10.1016/S0079-6123(08)60820-1
- Best, J. R., Miller, P. H., & Jones, L. L. (2009). Executive functions after age 5: Changes and correlates. *Developmental Review*, 29(3), 180-200. doi: 10.1016/j.dr.2009.05.002
-

Referencias bibliográficas

- Beunen, G. P., Malina, R. M., Lefevre, J., Claessens, A. L., Renson, R., Eynde, B. K., Vanreusel, B., Simons, J. (1997). Skeletal Maturation, Somatic Growth and Physical Fitness in Girls 6—16 Years of Age. *International Journal of Sports Medicine*, 28(06), 413-419. doi: 10.1055/s-2007-972657
- Bienfait, M. (2006). *Bases fisiológicas de la terapia manual y de la osteopatía*. Editorial Paidotribo.
- Billot, M., Handrigan, G. A., Simoneau, M., & Teasdale, N. (2015). Reduced plantar sole sensitivity induces balance control modifications to compensate ankle tendon vibration and vision deprivation. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 25(1), 155-160. doi: 10.1016/j.jelekin.2014.06.003
- Blake, A. J., Morgan, K., Bendall, M. J., Dallosso, H., Ebrahim, S. B., Arie, T. H., Fentem, P.H., Basse, E. J. (1988). Falls by elderly people at home: Prevalence and associated factors. *Age and Ageing*, 17(6), 365-372. doi: 10.1093/ageing/17.6.365
- Blázquez, M. T., Anguiano, M., Saavedra, F. A. de, Lallena, A. M., & Carpena, P. (2009). Study of the human postural control system during quiet standing using detrended fluctuation analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 388(9), 1857-1866. doi: 10.1016/j.physa.2009.01.001
- Bonan, I. V., Colle, F. M., Guichard, J. P., Vicaut, E., Eisenfisz, M., Tran Ba Huy, P., & Yelnik, A. P. (2004). Reliance on visual information after stroke. Part I: Balance on dynamic posturography. No commercial party having a direct financial interest in the results of the research supporting this article has or will confer a benefit upon the author(s) or upon any organization with which the author(s) is/are associated. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(2), 268-273. doi: 10.1016/j.apmr.2003.06.017
- Bonnet, C. T., & Baudry, S. (2016). A functional synergistic model to explain postural control during precise visual tasks. *Gait & Posture*, 50, 120-125. doi: 10.1016/j.gaitpost.2016.08.030
- Bordoni, B., Sugumar, K., & Daly, D. T. (2019). Neuroanatomy, Cranial Nerve 8 (Vestibulocochlear). En *StatPearls*. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537359/>
- Borel, L., Lopez, C., Péruch, P., & Lacour, M. (2008). Vestibular syndrome: A change in internal spatial representation. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 38(6), 375-389. doi: 10.1016/j.neucli.2008.09.002
- Borel, L., & Ribot-Ciscar, E. (2016). Improving postural control by applying mechanical noise to ankle muscle tendons. *Experimental Brain Research*, 234(8), 2305-2314. doi: 10.1007/s00221-016-4636-2
-

- Bortolami, S. B., DiZio, P., Rabin, E., & Lackner, J. R. (2003). Analysis of human postural responses to recoverable falls. *Experimental Brain Research*, *151*(3), 387-404. doi: 10.1007/s00221-003-1481-x
- Bouisset, S. (1991). Relation entre support postural et mouvement intentionnel: Approche biomécanique. *Archives Internationales de Physiologie, de Biochimie et de Biophysique*, *99*(5), A77-A92. doi: 10.3109/13813459109145919
- Bravi, A., Longtin, A., & Seely, A. J. (2011). Review and classification of variability analysis techniques with clinical applications. *BioMedical Engineering OnLine*, *10*(1), 90. doi: 10.1186/1475-925X-10-90
- Breinbauer, H. A. (2016). EVALUACIÓN VESTIBULAR EN 2016. PUESTA AL DÍA. *Revista Médica Clínica Las Condes*, *27*(6), 863-871.
- Brumagne, S., Cordo, P., & Verschueren, S. (2004). Proprioceptive weighting changes in persons with low back pain and elderly persons during upright standing. *Neuroscience Letters*, *366*(1), 63-66. doi: 10.1016/j.neulet.2004.05.013
- Buchanan, C. M., Eccles, J. S., & Becker, J. B. (1992). Are adolescents the victims of raging hormones? Evidence for activational effects of hormones on moods and behavior at adolescence. *Psychological bulletin*, *111*(1), 62.
- Burton, A. W., & Davis, W. E. (1992). Optimizing the Involvement and Performance of Children with Physical Impairments in Movement Activities. *Pediatric Exercise Science*, *4*(3), 236-248. doi: 10.1123/pes.4.3.236
- Bustillo-Casero, P., Villarrasa-Sapiña, I., & García-Massó, X. (2017). Effects of dual task difficulty in motor and cognitive performance: Differences between adults and adolescents. *Human Movement Science*, *55*, 8-17. doi: 10.1016/j.humov.2017.07.004
- Cabeza-Ruiz, R., García-Massó, X., Centeno-Prada, R. A., Beas-Jiménez, J. D., Colado, J. C., & González, L.-M. (2011). Time and frequency analysis of the static balance in young adults with Down syndrome. *Gait & Posture*, *33*(1), 23-28. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.09.014
- Caron, O., Gelat, T., Rougier, P., & Blanchi, J. P. (2000). A comparative analysis of the center of gravity and center of pressure trajectory path lengths in standing posture: An estimation of active stiffness. *Journal of Applied Biomechanics*, *16*(3), 234-247.
- Cauquil, A. S., Gervet, M. F. T., & Ouaknine, M. (1998). Body response to binaural monopolar galvanic vestibular stimulation in humans. *Neuroscience Letters*, *245*(1), 37-40. doi: 10.1016/S0304-3940(98)00161-X

Referencias bibliográficas

- Ceyte, H., Cian, C., Zory, R., Barraud, P.-A., Roux, A., & Guerraz, M. (2007). Effect of Achilles tendon vibration on postural orientation. *Neuroscience Letters*, *416*(1), 71-75. doi: 10.1016/j.neulet.2007.01.044
- Chiari, L., Bertani, A., & Cappello, A. (2000). Classification of visual strategies in human postural control by stochastic parameters. *Human Movement Science*, *19*(6), 817-842. doi: 10.1016/S0167-9457(01)00024-0
- Clark, R. A., Bryant, A. L., Pua, Y., McCrory, P., Bennell, K., & Hunt, M. (2010). Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance. *Gait & Posture*, *31*(3), 307-310. doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.11.012
- Collins, J. J., & De Luca, C. J. (1995). The effects of visual input on open-loop and closed-loop postural control mechanisms. *Experimental Brain Research*, *103*(1), 151-163.
- Cordo, P. J., & Nashner, L. M. (1982). Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements. *Journal of Neurophysiology*, *47*(2), 287-302. doi: 10.1152/jn.1982.47.2.287
- Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *11*(6), 671-684. doi: 10.1016/S0022-5371(72)80001-X
- Cratty, B. J. (1979). *Perceptual and Motor Development in Infants and Children. Second Edition.*
- Cuisinier, R., Olivier, I., Vaugoyeau, M., Nougier, V., & Assaiante, C. (2011). Reweighting of Sensory Inputs to Control Quiet Standing in Children from 7 to 11 and in Adults. *PLOS ONE*, *6*(5), e19697. doi: 10.1371/journal.pone.0019697
- Cumberworth, V. L., Patel, N. N., Rogers, W., & Kenyon, G. S. (2007). The maturation of balance in children. *The Journal of Laryngology & Otology*, *121*(5), 449-454. doi: 10.1017/S0022215106004051
- Curthoys, I. S. (2010). A critical review of the neurophysiological evidence underlying clinical vestibular testing using sound, vibration and galvanic stimuli. *Clinical Neurophysiology*, *121*(2), 132-144. doi: 10.1016/j.clinph.2009.09.027
- Dault, M. C., Frank, J. S., & Allard, F. (2001). Influence of a visuo-spatial, verbal and central executive working memory task on postural control. *Gait & Posture*, *14*(2), 110-116. doi: 10.1016/S0966-6362(01)00113-8
- Day, B. L., Séverac Cauquil, A., Bartolomei, L., Pastor, M. A., & Lyon, I. N. (1997). Human body-segment tilts induced by galvanic stimulation: A vestibularly driven balance protection mechanism. *The Journal of Physiology*, *500*(Pt 3), 661-672.
- de David, A., & Barbacena, M. (2011). Effect of obesity and overweight on postural balance in children from 7 to 14-years-old. *2011*.
-

- Deggouj, N., Castelein, S., & Gersdorff, M. (2008). Tullio's phenomenon. *B ENT*, 3, 27–28.
- Deshpande, N., & Patla, A. E. (2005). Postural responses and spatial orientation to neck proprioceptive and vestibular inputs during locomotion in young and older adults. *Experimental Brain Research*, 167(3), 468-474. doi: 10.1007/s00221-005-0182-z
- D'Hondt, E., Deforche, B., De Bourdeaudhuij, I., Gentier, I., Tanghe, A., Shultz, S., & Lenoir, M. (2011). Postural balance under normal and altered sensory conditions in normal-weight and overweight children. *Clinical Biomechanics*, 26(1), 84-89. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2010.08.007
- Diamond, A. (2002). Normal Development of Prefrontal Cortex from Birth to Young Adulthood: Cognitive Functions, Anatomy, and Biochemistry. En D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of Frontal Lobe Function* (pp. 466-503). doi: 10.1093/acprof:oso/9780195134971.003.0029
- Dichgans, J., Mauritz, K. H., Allum, J. H., & Brandt, T. (1976). Postural sway in normals and atactic patients: Analysis of the stabilising and destabilizing effects of vision. *Agressologie: Revue Internationale De Physio-Biologie Et De Pharmacologie Appliquees Aux Effets De L'agression*, 17(C Spec No), 15-24.
- Diener, H. C., & Dichgans, J. (1988). Chapter 22 On the role of vestibular, visual and somatosensory information for dynamic postural control in humans. En O. Pompeiano & J. H. J. Allum (Eds.), *Progress in Brain Research* (pp. 253-262). doi: 10.1016/S0079-6123(08)64512-4
- Dietz, V., Mauritz, K. H., & Dichgans, J. (1980). Body oscillations in balancing due to segmental stretch reflex activity. *Experimental Brain Research*, 40(1), 89-95. doi: 10.1007/BF00236666
- Doyle, R. J., Hsiao-Weckler, E. T., Ragan, B. G., & Rosengren, K. S. (2007). Generalizability of center of pressure measures of quiet standing. *Gait & Posture*, 25(2), 166-171. doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.03.004
- Duarte, M., & Freitas, S. M. S. F. (2010). Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. *Revista Brasileira De Fisioterapia (Sao Carlos (Sao Paulo, Brazil))*, 14(3), 183-192.
- Duclos, N., Duclos, C., & Mesure, S. (2017). Control postural: Fisiología, conceptos principales e implicaciones para la readaptación. *EMC - Kinesiterapia - Medicina Física*, 38(2), 1-9. doi: 10.1016/S1293-2965(17)83662-8
- Ebersbach, G., Dimitrijevic, M. R., & Poewe, W. (1995). Influence of concurrent tasks on gait: A dual-task approach. *Perceptual and Motor Skills*, 81(1), 107-113. doi: 10.2466/pms.1995.81.1.107
-

Referencias bibliográficas

- Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., Fernandez, I. P., Carrasco, E. G., Bates, N., Farrell, A., ... Kang, J. (2014). Feasibility and reliability of dynamic postural control measures in children in first through fifth grades. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 9(2), 140-148.
- Famose, J.-P. (1983). Stratégies pédagogiques, tâches motrices et traitement de l'information. *Dossiers EPS*, 1, 9-21.
- Ferber-Viart, C., Ionescu, E., Morlet, T., Froehlich, P., & Dubreuil, C. (2007). Balance in healthy individuals assessed with Equitest: Maturation and normative data for children and young adults. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 71(7), 1041-1046. doi: 10.1016/j.ijporl.2007.03.012
- Ferdjallah, M., Harris, G. F., Smith, P., & Wertsch, J. J. (2002). Analysis of postural control synergies during quiet standing in healthy children and children with cerebral palsy. *Clinical Biomechanics*, 17(3), 203-210. doi: 10.1016/S0268-0033(01)00121-8
- Fitzpatrick, R. C., & Day, B. L. (2004). Probing the human vestibular system with galvanic stimulation. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 96(6), 2301-2316. doi: 10.1152/jappphysiol.00008.2004
- Forssberg, H., & Nashner, L. M. (1982). Ontogenetic development of postural control in man: Adaptation to altered support and visual conditions during stance. *Journal of Neuroscience*, 2(5), 545-552.
- Foudriat, B. A., Di Fabio, R. P., & Anderson, J. H. (1993). Sensory organization of balance responses in children 3-6 years of age: A normative study with diagnostic implications. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 27(3), 255-271.
- Fraizer, E. V., & Mitra, S. (2008). Methodological and interpretive issues in posture-cognition dual-tasking in upright stance. *Gait & Posture*, 27(2), 271-279. doi: 10.1016/j.gaitpost.2007.04.002
- Fuenmayor, G., & Villasmil, Y. (2008). La percepción, la atención y la memoria como procesos cognitivos utilizados para la comprensión textual. *Revista de artes y humanidades UNICA*, 9(22).
- Funahashi, S. (2001). Neuronal mechanisms of executive control by the prefrontal cortex. *Neuroscience Research*, 39(2), 147-165. doi: 10.1016/S0168-0102(00)00224-8
- Funes, M. J., & Lupiáñez, J. (2003). La teoría atencional de Posner: Una tarea para medir las funciones atencionales de Orientación, Alerta y Control Cognitivo y la interacción entre ellas. *Psicothema*, 15(2), 260-266.

- Gabbett, D. T., Wake, M., & Abernethy, B. (2011). Use of dual-task methodology for skill assessment and development: Examples from rugby league. *Journal of Sports Sciences*, 29(1), 7-18. doi: 10.1080/02640414.2010.514280
- Gagey, P.-M., & Weber, B. (2004). *Posturologie: Régulation et dérèglements de la station debout*. Elsevier Masson.
- Gahery, Y. (1987). Associated movements, postural adjustments and synergies: Some comments about the history and significance of three motor concepts. *Archives Italiennes de Biologie*, 125(4), 345-360.
- Gallahue, D. L., & Ozmun, J. C. (2000). *Understanding Motor Development: Infants, Children, Adolescents, Adults*. McGraw-Hill College.
- Gandemer, L., Parseihian, G., Kronland-Martinet, R., & Bourdin, C. (2014). The influence of horizontally rotating sound on standing balance. *Experimental Brain Research*, 232(12), 3813-3820. doi: 10.1007/s00221-014-4066-y
- García-Massó, X., Marco-Ahulló, A., Villarrasa-Sapiña, I., Álvarez-Pitti, J., & Bermejo, J.-L. (2019). Obesity Affects Postural Control in Middle Childhood and Adolescence but not in Early Childhood. *Journal of Motor Learning and Development*, 7(3), 307-319. doi: 10.1123/jmld.2018-0042
- Gardner, H. (2005). *Inteligencias múltiples* (Vol. 46). Paidós Barcelona.
- Gathercole, S. E., Alloway, T. P., Willis, C., & Adams, A.-M. (2006). Working memory in children with reading disabilities. *Journal of Experimental Child Psychology*, 93(3), 265-281. doi: 10.1016/j.jecp.2005.08.003
- Gatica R, V., Elgueta C, E., & Valdés M, R. (2008). Effects of Sensory Stimuli on Postural Control: A Tetraplegic Case Report. *International Journal of Morphology*, 26(4). doi: 10.4067/S0717-95022008000400004
- Geldhof, E., Cardon, G., De Bourdeaudhuij, I., Danneels, L., Coorevits, P., Vanderstraeten, G., & De Clercq, D. (2006). Static and dynamic standing balance: Test-retest reliability and reference values in 9 to 10 year old children. *European Journal of Pediatrics*, 165(11), 779-786. doi: 10.1007/s00431-006-0173-5
- Giacomini, P. G., Alessandrini, M., & Magrini, A. (2002). Long-term postural abnormalities in benign paroxysmal positional vertigo. *ORL; Journal for Oto-Rhino-Laryngology and Its Related Specialties*, 64(4), 237-241. doi: 10.1159/000064130
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., Paus, T., Evans A.C., Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: A longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2(10), 861-863. doi: 10.1038/13158
-

Referencias bibliográficas

- Godoi, D., & Barela, J. A. (2008). Body sway and sensory motor coupling adaptation in children: Effects of distance manipulation. *Developmental Psychobiology*, *50*(1), 77-87. doi: 10.1002/dev.20272
- Goldberg, E. (2018). *El cerebro ejecutivo: Lóbulos frontales y mente civilizada*. Grupo Planeta.
- Golz, A., Westerman, S. T., Westerman, L. M., Goldenberg, D., Netzer, A., Wiedmyer, T., Fradis, M., Joachims, H. Z. (2001). The effects of noise on the vestibular system. *American Journal of Otolaryngology*, *22*(3), 190-196. doi: 10.1053/ajot.2001.23428
- Gómez, J. R. (1986). *La Educación Física en el nivel primario*. Editorial Stadium SRL.
- Gortmaker, S. L., Must, A., Perrin, J. M., Sobol, A. M., & Dietz, W. H. (1993). Social and economic consequences of overweight in adolescence and young adulthood. *The New England Journal of Medicine*, *329*(14), 1008-1012. doi: 10.1056/NEJM199309303291406
- Goulding, A., Jones, I. E., Taylor, R. W., Piggot, J. M., & Taylor, D. (2003). Dynamic and static tests of balance and postural sway in boys: Effects of previous wrist bone fractures and high adiposity. *Gait & Posture*, *17*(2), 136-141. doi: 10.1016/S0966-6362(02)00161-3
- Granacher, U., Muehlbauer, T., Gollhofer, A., Kressig, R. W., & Zahner, L. (2011). An intergenerational approach in the promotion of balance and strength for fall prevention—A mini-review. *Gerontology*, *57*(4), 304-315. doi: 10.1159/000320250
- Griffiths, L. J., Wolke, D., Page, A. S., & Horwood, J. P. (2006). Obesity and bullying: Different effects for boys and girls. *Archives of Disease in Childhood*, *91*(2), 121-125. doi: 10.1136/adc.2005.072314
- Groselj, J., Osredkar, D., Sember, V., & Pajek, M. (2019). Associations between balance and other fundamental motor skills in pre-adolescents. *Medicina dello Sport*, *72*(2), 200–15.
- Grossman, G. E., Leigh, R. J., Bruce, E. N., Huebner, W. P., & Lanska, D. J. (1989). Performance of the human vestibuloocular reflex during locomotion. *Journal of Neurophysiology*, *62*(1), 264-272. doi: 10.1152/jn.1989.62.1.264
- Guardiola, A., Ferreira, L. T. C., & Rotta, N. T. (1998). Associação entre desempenho das funções corticais e alfabetização em uma amostra de escolares de primeira série de Porto Alegre. *Arq Neuropsiquiatr*, *56*(2), 281–8.
- Günther, M., Grimmer, S., Siebert, T., & Blickhan, R. (2009). All leg joints contribute to quiet human stance: A mechanical analysis. *Journal of Biomechanics*, *42*(16), 2739-2746. doi: 10.1016/j.jbiomech.2009.08.014
- Gurfinkel, V. S. (1973). Muscle afferentation and postural control in man. *Agressologie: Revue Internationale De Physio-Biologie Et De Pharmacologie Appliquees Aux Effets De L'agression*, *14*(Spec No C), 1-8.
-

- Haas, G., Diener, H. C., Rapp, H., & Dichgans, J. (1989). Development of feedback and feedforward control of upright stance. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *31*(4), 481-488. doi: 10.1111/j.1469-8749.1989.tb04026.x
- Hackman, J. R. (1969). Toward understanding the role of tasks in behavioral research. *Acta Psychologica*, *31*, 97-128. doi: 10.1016/0001-6918(69)90073-0
- Hageman, P. A., Leibowitz, J. M., & Blanke, D. (1995). Age and gender effects on postural control measures. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, *76*(10), 961-965.
- Harbourne, R. T., Deffeyes, J. E., Kyvelidou, A., & Stergiou, N. (2009). Complexity of postural control in infants: Linear and nonlinear features revealed by principal component analysis. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, *13*(1), 123-144.
- Hatzitaki, V., Zlsi, V., Kollias, I., & Kioumourtzoglou, E. (2002). Perceptual-Motor Contributions to Static and Dynamic Balance Control in Children. *Journal of Motor Behavior*, *34*(2), 161-170. doi: 10.1080/00222890209601938
- Heijden, A. H. C. van der. (2003). *Selective Attention in Vision*. Routledge.
- Hertel, J., Gay, M. R., & Denegar, C. R. (2002). Differences in Postural Control During Single-Leg Stance Among Healthy Individuals With Different Foot Types. *Journal of Athletic Training*, *37*(2), 129-132.
- Hirabayashi, S., & Iwasaki, Y. (1995). Developmental perspective of sensory organization on postural control. *Brain & Development*, *17*(2), 111-113. doi: 10.1016/0387-7604(95)00009-Z
- Horak, F. B., Diener, H. C., & Nashner, L. M. (1989). Influence of central set on human postural responses. *Journal of Neurophysiology*, *62*(4), 841-853. doi: 10.1152/jn.1989.62.4.841
- Horak, F. B., & Nashner, L. M. (1986). Central programming of postural movements: Adaptation to altered support-surface configurations. *Journal of Neurophysiology*, *55*(6), 1369-1381. doi: 10.1152/jn.1986.55.6.1369
- Horak, F. B., Nashner, L. M., & Diener, H. C. (1990). Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss. *Experimental Brain Research*, *82*(1), 167-177. doi: 10.1007/BF00230848
- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*, *35*(suppl_2), ii7-ii11. doi: 10.1093/ageing/af1077
- Horak, F. B., Henry, S. M., & Shumway-Cook, A. (1997). Postural Perturbations: New Insights for Treatment of Balance Disorders. *Physical Therapy*, *77*(5), 517-533. doi: 10.1093/ptj/77.5.517
-

Referencias bibliográficas

- Horak, F. B., & Macpherson, J. M. (2011). Postural Orientation and Equilibrium. En *Comprehensive Physiology* (pp. 255-292). doi: 10.1002/cphy.cp120107
- Hsu, Y. S., Kuan, C. C., & Young, Y. H. (2009). Assessing the development of balance function in children using stabilometry. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 73(5), 737-740. doi: 10.1016/j.ijporl.2009.01.016
- Huang, H. J., & Mercer, V. S. (2001). Dual-task methodology: Applications in studies of cognitive and motor performance in adults and children. *Pediatric Physical Therapy*, 13(3), 133-140.
- Huxhold, O., Li, S. C., Schmiedek, F., & Lindenberger, U. (2006). Dual-tasking postural control: Aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain Research Bulletin*, 69(3), 294-305. doi: 10.1016/j.brainresbull.2006.01.002
- Ibrahim, A. I., Muaidi, Q. I., Abdelsalam, M. S., Hawamdeh, Z. M., & Alhusaini, A. A. (2013). Association of Postural Balance and Isometric Muscle Strength in Early- and Middle-School-Age Boys. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 36(9), 633-643. doi: 10.1016/j.jmpt.2013.08.009
- Ivanenko, Y. P., Solopova, I. A., & Levik, Y. S. (2000). The direction of postural instability affects postural reactions to ankle muscle vibration in humans. *Neuroscience Letters*, 292(2), 103-106. doi: 10.1016/S0304-3940(00)01438-5
- Izquierdo, M., & Redín, M. I. (2008). *Biomecnica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte / Biomechanics and Neuromuscular Bases of Physical Activity and Sport*. Ed. Médica Panamericana.
- Jacobson, G. P., & Shephard, N. T. (2014). *Balance Function Assessment and Management, Second Edition*. Plural Publishing.
- Jeka, J., Oie, K. S., & Kiemel, T. (2000). Multisensory information for human postural control: Integrating touch and vision. *Experimental Brain Research*, 134(1), 107-125. doi: 10.1007/s002210000412
- Jones, M. A., Hitchen, P. J., & Stratton, G. (2000). The importance of considering biological maturity when assessing physical fitness measures in girls and boys aged 10 to 16 years. *Annals of Human Biology*, 27(1), 57-65. doi: 10.1080/030144600282389
- Kahl, H., Dortschy, R., & Ellsäßer, G. (2007). [Injuries among children and adolescents (1-17 years) and implementation of safety measures. Results of the nationwide German Health Interview and Examination Survey for Children and Adolescents (KiGGS)]. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, 50(5-6), 718-727. doi: 10.1007/s00103-007-0233-7
-

- Kahneman, D. (1973). Attention and Effort. Recuperado 21 de septiembre de 2018, de <https://philpapers.org/rec/KAHAAE>
- Kambas, A., Antoniou, P., Xanthi, G., Heikenfeld, R., Taxildaris, K., & Godolias, G. (2004). Accident prevention through development of coordination in kindergarten children. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55(2), 44-47.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum, S., Hudspeth, A. J., & Mack, S. (2013). *Principles of neural science* (5th ed). Recuperado de <http://hdl.handle.net/2324/1001489986>
- Kavounoudias, A., Roll, R., & Roll, J. P. (1998). The plantar sole is a «dynamometric map» for human balance control. *Neuroreport*, 9(14), 3247-3252. doi: 10.1097/00001756-199810050-00021
- Kavounoudias, A., Roll, R., & Roll, J. P. (2001). Foot sole and ankle muscle inputs contribute jointly to human erect posture regulation. *The Journal of Physiology*, 532(Pt 3), 869-878. doi: 10.1111/j.1469-7793.2001.0869e.x
- Kinsbourne, M. (1981). *Single-channel theory*.
- Kirshenbaum, N., Riach, C., & Starkes, J. (2001). Non-linear development of postural control and strategy use in young children: A longitudinal study. *Experimental Brain Research*, 140(4), 420-431. doi: 10.1007/s002210100835
- Kluzik, J., Horak, F. B., & Peterka, R. J. (2005). Differences in preferred reference frames for postural orientation shown by after-effects of stance on an inclined surface. *Experimental Brain Research*, 162(4), 474-489. doi: 10.1007/s00221-004-2124-6
- Kuczumski, R. J., Ogden, C. L., Guo, S. S., Grummer-Strawn, L. M., Flegal, K. M., Mei, Z., ... Johnson, C. L. (2002). 2000 CDC Growth Charts for the United States: Methods and development. *Vital and Health Statistics. Series 11, Data from the National Health Survey*, (246), 1-190.
- LaBerge, D. (1995). *Attentional processing: The brain's art of mindfulness*. doi: 10.4159/harvard.9780674183940
- Lackner, J. R., & DiZio, P. (2005). Vestibular, proprioceptive, and haptic contributions to spatial orientation. *Annual Review of Psychology*, 56, 115-147. doi: 10.1146/annurev.psych.55.090902.142023
- Lacour, M. (2013). Fisiología del equilibrio: De los modelos genéticos a los enfoques cognitivistas. *EMC - Podología*, 15(2), 1-8. doi: 10.1016/S1762-827X(13)64685-4
-

Referencias bibliográficas

- Lacour, M., Bernard-Demanze, L., & Dumitrescu, M. (2008). Posture control, aging, and attention resources: Models and posture-analysis methods. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 38(6), 411-421. doi: 10.1016/j.neucli.2008.09.005
- Lacour, M., & Borel, L. (1993). Vestibular control of posture and gait. *Archives Italiennes de Biologie*, 131(2-3), 81-104.
- Lacour, M., Dupui, P., & Montoya, R. (2003). *Physiologie, techniques, pathologies*. Groupe de Boeck.
- Lajoie, Y., Teasdale, N., Bard, C., & Fleury, M. (1993). Attentional demands for static and dynamic equilibrium. *Experimental Brain Research*, 97(1), 139-144.
- Larsen, L. R., Jørgensen, M. G., Junge, T., Juul-Kristensen, B., & Wedderkopp, N. (2014). Field assessment of balance in 10 to 14 year old children, reproducibility and validity of the Nintendo Wii board. *BMC Pediatrics*, 14(1), 144. doi: 10.1186/1471-2431-14-144
- Lee, A. J. Y., & Lin, W.-H. (2007). The Influence of Gender and Somatotype on Single-Leg Upright Standing Postural Stability in Children. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(3), 173-179. doi: 10.1123/jab.23.3.173
- Lee, D. N., & Aronson, E. (1974). Visual proprioceptive control of standing in human infants. *Perception & Psychophysics*, 15(3), 529-532. doi: 10.3758/BF03199297
- Lee, H., Sullivan, S. J., & Schneiders, A. G. (2013). The use of the dual-task paradigm in detecting gait performance deficits following a sports-related concussion: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(1), 2-7. doi: 10.1016/j.jsams.2012.03.013
- Lephart, S. M., & Fu, F. H. (2000). *Proprioception and neuromuscular control in joint stability*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Lephart, S. M., Pincivero, D. M., & Rozzi, S. L. (1998). Proprioception of the ankle and knee. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 25(3), 149-155. doi: 10.2165/00007256-199825030-00002
- Lezak, M. D. (1982). The problem of assessing executive functions. *International Journal of Psychology*, 17(2-3), 281-297. doi: 10.1080/00207598208247445
- Lezak, M. D. (1987). Relationships between personality disorders, social disturbances, and physical disability following traumatic brain injury. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 2(1), 57-69. doi: 10.1097/00001199-198703000-00009
- Lezak, M. D. (1995). *Neuropsychological assessment, 3rd ed.* New York, NY, US: Oxford University Press.
-

- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Loring, D. W., & Fischer, J. S. (2004).. (2010). *Registro posturográfico y craneocorporográfico de las alteraciones del equilibrio producidas por el alcohol*.
- Lishman, J. R., & Lee, D. N. (1973). The Autonomy of Visual Kinaesthesia. *Perception*, 2(3), 287-294. doi: 10.1068/p020287
- Little, C. E., & Woollacott, M. (2015). EEG measures reveal dual-task interference in postural performance in young adults. *Experimental brain research*, 233(1), 27-37. doi: 10.1007/s00221-014-4111-x
- Loram, I. D., & Lakie, M. (2002). Direct measurement of human ankle stiffness during quiet standing: The intrinsic mechanical stiffness is insufficient for stability. *The Journal of Physiology*, 545(3), 1041-1053. doi: 10.1113/jphysiol.2002.025049
- Lund, S., & Broberg, C. (1983). Effects of different head positions on postural sway in man induced by a reproducible vestibular error signal. *Acta Physiologica Scandinavica*, 117(2), 307-309. doi: 10.1111/j.1748-1716.1983.tb07212.x
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological bulletin*, 109(2), 163.
- Mahboobin, A., Loughlin, P. J., Redfern, M. S., Anderson, S. O., Atkeson, C. G., & Hodgins, J. K. (2008). Sensory adaptation in human balance control: Lessons for biomimetic robotic bipeds. *Neural Networks*, 21(4), 621-627. doi: 10.1016/j.neunet.2008.03.013
- Mahboobin, A., Loughlin, P. J., Redfern, M. S., & Sparto, P. J. (2005). Sensory re-weighting in human postural control during moving-scene perturbations. *Experimental Brain Research*, 167(2), 260-267. doi: 10.1007/s00221-005-0053-7
- Mainenti, M. R. M., De Oliveira, L. F., De Melo Tavares De Lima, M. A., & Nadal, J. (2007). Stabilometric signal analysis in tests with sound stimuli. *Experimental Brain Research*, 181(2), 229-236. doi: 10.1007/s00221-007-0921-4
- Maitre, J., Serres, I., Lhuisset, L., Bois, J., Gasnier, Y., & Paillard, T. (2015). Regular physical activity reduces the effects of Achilles tendon vibration on postural control for older women. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(1), e82-88. doi: 10.1111/sms.12256
- Maitre, J., Jully, J. L., Gasnier, Y., & Paillard, T. (2013). Chronic physical activity preserves efficiency of proprioception in postural control in older women. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 50(6), 811-820. doi: 10.1682/JRRD.2012.08.0141
- Maitre, J., & Paillard, T. (2016). Postural Effects of Vestibular Manipulation Depend on the Physical Activity Status. *PLoS ONE*, 11(9). doi: 10.1371/journal.pone.0162966
-

Referencias bibliográficas

- Malina, R. M., Reyes, M. E. P., Eisenmann, J. C., Horta, L., Rodrigues, J., & Miller, R. (2000). Height, mass and skeletal maturity of elite Portuguese soccer players aged 11–16 years. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 685-693. doi: 10.1080/02640410050120069
- Mallau, S., Vaugoyeau, M., & Assaiante, C. (2010). Postural strategies and sensory integration: No turning point between childhood and adolescence. *PloS One*, 5(9), e744-e744. doi: 10.1371/journal.pone.0013078
- Mansilla, M. (2000). Etapas del desarrollo humano. *Revista de investigación en Psicología*, 3(2), 105-116. doi: 10.15381/rinvp.v3i2.4999
- Márquez, J. M. C., & Celis, C. C. (2016). *Enciclopedia de Educación Física en la edad escolar*. Wanceulen S.L.
- Martín, N. A. M. (2004). *Bases neurofisiológicas del equilibrio postural*.
- Massion, J. (1994). Postural control system. *Current Opinion in Neurobiology*, 4(6), 877-887. doi: 10.1016/0959-4388(94)90137-6
- Matthews, P. B. C. (2011). Muscle Spindles: Their Messages and Their Fusimotor Supply. En *Comprehensive Physiology* (pp. 189-228). doi: 10.1002/cphy.cp010206
- Maurer, C., Mergner, T., Bolha, B., & Hlavacka, F. (2000). Vestibular, visual, and somatosensory contributions to human control of upright stance. *Neuroscience Letters*, 281(2), 99-102. doi: 10.1016/S0304-3940(00)00814-4
- Mayer, R. E. (1985). *El futuro de la psicología cognitiva*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=230813>
- Mayer, R. E. (2002). *Psicología de la educación: El aprendizaje en las áreas de conocimiento*. Pearson Educación.
- McCulloch, K. (2007). Attention and Dual-Task Conditions: Physical Therapy Implications for Individuals With Acquired Brain Injury. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 31(3), 104. doi: 10.1097/NPT.0b013e31814a6493
- McGraw, B., McClenaghan, B. A., Williams, H. G., Dickerson, J., & Ward, D. S. (2000). Gait and postural stability in obese and nonobese prepubertal boys. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81(4), 484-489. doi: 10.1053/mr.2000.3782
- McGuine, T. A., Greene, J. J., Best, T., & Levenson, G. (2000). Balance as a predictor of ankle injuries in high school basketball players. *Clinical Journal of Sport Medicine : Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 10(4), 239-244. doi: 10.1097/00042752-200010000-00003
- Mehdizadeh, H., Taghizadeh, G., Ghomashchi, H., Parnianpour, M., Khalaf, K., Salehi, R., ... Sangelaji, B. (2015). The effects of a short-term memory task on postural control of stroke
-

- patients. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 22(5), 335-341. doi: 10.1179/1074935714Z.0000000039
- Mergner, T., & Rosemeier, T. (1998). Interaction of vestibular, somatosensory and visual signals for postural control and motion perception under terrestrial and microgravity conditions— A conceptual model. *Brain Research Reviews*, 28(1), 118-135. doi: 10.1016/S0165-0173(98)00032-0
- Mesure, S., & Lamendin, H. (2001). *Posture, pratique sportive et rééducation*. (DEPRECIATED).
- Micarelli, A., Viziano, A., Augimeri, I., Micarelli, B., & Alessandrini, M. (2019). Age-related Assessment of Postural Control Development: A Cross-sectional Study in Children and Adolescents. *Journal of Motor Behavior*, 0(0), 1-9. doi: 10.1080/00222895.2019.1643284
- Mickle, K. J., Munro, B. J., & Steele, J. R. (2011). Gender and age affect balance performance in primary school-aged children. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(3), 243-248. doi: 10.1016/j.jsams.2010.11.002
- Miller, E. K., & Wallis, J. D. (2009). Executive function and higher-order cognition: Definition and neural substrates. *Encyclopedia of neuroscience*, 4(99-104).
- Moore, K. L., & Dalley, A. F. (2009). *Anatomía con orientación clínica*. Ed. Médica Panamericana.
- Nagy, E., Toth, K., Janositz, G., Kovacs, G., Feher-Kiss, A., Angyan, L., & Horvath, G. (2004). Postural control in athletes participating in an ironman triathlon. *European Journal of Applied Physiology*, 92(4), 407-413. doi: 10.1007/s00421-004-1157-7
- Nashner, L., & Berthoz, A. (1978). Visual contribution to rapid motor responses during postural control. *Brain Research*, 150(2), 403-407. doi: 10.1016/0006-8993(78)90291-3
- Nashner, L. M., & Cordo, P. J. (1981). Relation of automatic postural responses and reaction-time voluntary movements of human leg muscles. *Experimental Brain Research*, 43(3-4), 395-405. doi: 10.1007/BF00238382
- Nashner, L. M., Shupert, C. L., & Horak, F. B. (1988). Head-trunk movement coordination in the standing posture. En O. Pompeiano & J. H. J. Allum (Eds.), *Progress in Brain Research* (pp. 243-251). doi: 10.1016/S0079-6123(08)64511-2
- Nashner, L. M., Woollacott, M., & Tuma, G. (1979). Organization of rapid responses to postural and locomotor-like perturbations of standing man. *Experimental Brain Research*, 36(3), 463-476. doi: 10.1007/BF00238516
- Nashner, L. M. (1985). Strategies for Organization of Human Posture. *Vestibular and Visual Control on Posture and Locomotor Equilibrium*, 1-8. doi: 10.1159/000410293
- Nashner, L. M. (2014). Practical biomechanics and physiology of balance. *Balance Function Assessment and Management*, 431.
-

Referencias bibliográficas

- Navon, D., & Miller, J. (1987). Role of outcome conflict in dual-task interference. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 13(3), 435-448. doi: 10.1037//0096-1523.13.3.435
- Neisser, U. (1976). *Cognition and Reality: Principles and Implications of Cognitive Psychology*. W. H. Freeman.
- Njiokiktjien, C., De Rijke, W., Dieker-Van, A. O., & Voorhoeve-Coebergh, O. (1978). A possible contribution of stabilography to the differential diagnosis of cerebellar processes. *Agressologie: Revue Internationale de Physio-Biologie et de Pharmacologie Appliquees Aux Effets de l'agression*, 19(B), 87-88.
- Noé, F., Amarantini, D., & Paillard, T. (2009). How experienced alpine-skiers cope with restrictions of ankle degrees-of-freedom when wearing ski-boots in postural exercises. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(2), 341-346. doi: 10.1016/j.jelekin.2007.09.003
- Nolan, L., Grigorenko, A., & Thorstensson, A. (2005). Balance control: Sex and age differences in 9- to 16-year-olds. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 47, 449-454. doi: 10.1017/S0012162205000873
- Oie, K. S., Kiemel, T., & Jeka, J. J. (2002). Multisensory fusion: Simultaneous re-weighting of vision and touch for the control of human posture. *Cognitive Brain Research*, 14(1), 164-176. doi: 10.1016/S0926-6410(02)00071-X
- Oliva, M., Bartual Magro, J., Roquette Gaona, J., & Bartual Pastor, J. (2013). Estudio espectral de la estrategia postural de una población sana en pruebas estáticas. *Acta Otorrinolaringológica Española*, 64(2), 124-132. doi: 10.1016/j.otorri.2012.09.003
- Olivier, I., Palluel, E., Nougier, V., & Assaiante, C. (2013). Evolución de las estrategias posturales desde la infancia a la adolescencia. *EMC - Podología*, 15(3), 1-8. doi: 10.1016/S1762-827X(13)65195-0
- Olivier, I., Cuisinier, R., Vaugoyeau, M., Nougier, V., & Assaiante, C. (2010). Age-related differences in cognitive and postural dual-task performance. *Gait & Posture*, 32(4), 494-499. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.07.008
- Onambele, G. L., Narici, M. V., & Maganaris, C. N. (2006). Calf muscle-tendon properties and postural balance in old age. *Journal of Applied Physiology*, 100(6), 2048-2056. doi: 10.1152/jappphysiol.01442.2005
- Ortega, J. J. (2007). *Manual de psicomotricidad. (Teoría, exploración, programación y práctica)*. Ediciones La Tierra Hoy S.L.
- Paillard, T. (2009). *Vieillesse et condition physique*.
-

- Paillard, T., & Noé, F. (2015). Techniques and Methods for Testing the Postural Function in Healthy and Pathological Subjects. *BioMed Research International*, 2015. doi: 10.1155/2015/891390
- Paillard, T., Noé, F., Rivière, T., Marion, V., Montoya, R., & Dupui, P. (2006). Postural Performance and Strategy in the Unipedal Stance of Soccer Players at Different Levels of Competition. *Journal of Athletic Training*, 41(2), 172-176.
- Palluel, E., Nougier, V., & Olivier, I. (2010). Postural control and attentional demand during adolescence. *Brain Research*, 1358, 151-159. doi: 10.1016/j.brainres.2010.08.051
- Palmieri, R. M., Ingersoll, C. D., Stone, M. B., & Krause, B. A. (2002). Center-of-Pressure Parameters Used in the Assessment of Postural Control. *Journal of Sport Rehabilitation*, 11(1), 51-66. doi: 10.1123/jsr.11.1.51
- Parasuraman, R., & Davies, D. R. (1984). *Varieties of attention* (Vol. 40). Academic Press New York.
- Park, D. S., & Lee, G. (2014). Validity and reliability of balance assessment software using the Nintendo Wii balance board: Usability and validation. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 11, 99-99. doi: 10.1186/1743-0003-11-99
- Park, S. H., Lee, K., Lockhart, T., & Kim, S. (2011). Effects of Sound on Postural Stability during Quiet Standing. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 8(1), 67. doi: 10.1186/1743-0003-8-67
- Parlebas, P. (1981). *Contribution a un lexique commenté en science de l'action motrice*. Paris: INSEP.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological bulletin*, 116(2), 220.
- Pérennou, D. A., Amblard, B., Laassel E. M., & Pélissier, J. (1997). Hemispheric asymmetry in the visual contribution to postural control in healthy adults. *NeuroReport*, 8(14), 3137-3141.
- Pérez, L. M. R. (1997). *Deporte y aprendizaje: Procesos de adquisición y desarrollo de habilidades*. Visor.
- Peterka, R. J. (2002). Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of Neurophysiology*, 88(3), 1097-1118. doi: 10.1152/jn.2002.88.3.1097
- Peterka, R. J., & Black, F. O. (1990). Age-related changes in human posture control: Sensory organization tests. *Journal of Vestibular Research: Equilibrium & Orientation*, 1(1), 73-85.
- Peterka, R. J., & Loughlin, P. J. (2004). Dynamic regulation of sensorimotor integration in human postural control. *Journal of Neurophysiology*, 91(1), 410-423. doi: 10.1152/jn.00516.2003
-

Referencias bibliográficas

- Peterson, M. L., Christou, E., & Rosengren, K. S. (2006). Children achieve adult-like sensory integration during stance at 12-years-old. *Gait & Posture*, *23*(4), 455-463. doi: 10.1016/j.gaitpost.2005.05.003
- Pfeiffer, M., Kotz, R., Ledl, T., Hauser, G., & Sluga, M. (2006). Prevalence of Flat Foot in Preschool-Aged Children. *Pediatrics*, *118*(2), 634-639. doi: 10.1542/peds.2005-2126
- Polastri, P. F., & Barela, J. A. (2013). Adaptive Visual Re-Weighting in Children's Postural Control. *PLOS ONE*, *8*(12), e82215. doi: 10.1371/journal.pone.0082215
- Polonyova, A., & Hlavacka, F. (2001). Human postural responses to different frequency vibrations of lower leg muscles. *Physiological research*, *50*(4), 405-410.
- Polskaia, N., & Lajoie, Y. (2016). Reducing postural sway by concurrently performing challenging cognitive tasks. *Human Movement Science*, *46*, 177-183. doi: 10.1016/j.humov.2015.12.013
- Portellano, J. A. (2005). Cómo desarrollar la inteligencia. *Entrenamiento neuropsicológico de la atención y las funciones*. Madrid, SP: Samos.
- Posner, M. I., & Dehaene, S. (1994). Attentional networks. *Trends in Neurosciences*, *17*(2), 75-79. doi: 10.1016/0166-2236(94)90078-7
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The Attention System of the Human Brain. *Annual Review of Neuroscience*, *13*(1), 25-42. doi: 10.1146/annurev.ne.13.030190.000325
- Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (1992). CHAPTER 5—Attentional Mechanisms and Conscious Experience. En A. D. Milner & M. D. Rugg (Eds.), *The Neuropsychology of Consciousness* (pp. 91-111). doi: 10.1016/B978-0-12-498045-7.50010-4
- Prabhakaran, V., Narayanan, K., Zhao, Z., & Gabrieli, J. D. (2000). Integration of diverse information in working memory within the frontal lobe. *Nature Neuroscience*, *3*(1), 85-90. doi: 10.1038/71156
- Prieto, T. E., Myklebust, J. B., Hoffmann, R. G., Lovett, E. G., & Myklebust, B. M. (1996). Measures of postural steadiness: Differences between healthy young and elderly adults. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, *43*(9), 956-966. doi: 10.1109/10.532130
- Ragnarsdóttir, M. (1996). The Concept of Balance. *Physiotherapy*, *82*(6), 368-375. doi: 10.1016/S0031-9406(05)66484-X
- Rama, J., & Pérez, N. (2004). Caracterización de la interacción sensorial en posturografía. *Acta Otorrinolaringológica Española*, *55*(2), 62-66.
- Raudsepp, L., & Pääsuke, M. (1995). Gender Differences in Fundamental Movement Patterns, Motor Performances, and Strength Measurements of Prepubertal Children. *Pediatric Exercise Science*, *7*(3), 294-304. doi: 10.1123/pes.7.3.294

- Ravaioli, E., Oie, K. S., Kiemel, T., Chiari, L., & Jeka, J. J. (2005). Nonlinear postural control in response to visual translation. *Experimental Brain Research*, 160(4), 450-459. doi: 10.1007/s00221-004-2030-y
- Raymakers, J. A., Samson, M. M., & Verhaar, H. J. J. (2005). The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s). *Gait & Posture*, 21(1), 48-58. doi: 10.1016/j.gaitpost.2003.11.006
- Ré, A. H. N. (2011). Crescimento, maturação e desenvolvimento na infância e adolescência: Implicações para o esporte. *Motricidade*, 7(3), 55-67.
- Rebollo, M. A., & Montiel, S. (2006). Atención y funciones ejecutivas. *Revista de neurología*, 42(2), 53-57.
- Redfern, M. S., Jennings, J. R., Martin, C., & Furman, J. M. (2001). Attention influences sensory integration for postural control in older adults. *Gait & Posture*, 14(3), 211-216. doi: 10.1016/S0966-6362(01)00144-8
- Reilly, D. S., Woollacott, M. H., van Donkelaar, P., & Saavedra, S. (2008). The Interaction Between Executive Attention and Postural Control in Dual-Task Conditions: Children With Cerebral Palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(5), 834-842. doi: 10.1016/j.apmr.2007.10.023
- Remaud, A., Boyas, S., Caron, G. A. R., & Bilodeau, M. (2012). Attentional Demands Associated With Postural Control Depend on Task Difficulty and Visual Condition. *Journal of Motor Behavior*, 44(5), 329-340. doi: 10.1080/00222895.2012.708680
- Riach, C. L., & Hayes, K. C. (1987). Maturation of postural sway in young children. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 29(5), 650-658.
- Riach, C. L., & Starkes, J. L. (1993). Stability limits of quiet standing postural control in children and adults. *Gait & Posture*, 1, 105-111.
- Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002). The Sensorimotor System, Part I: The Physiologic Basis of Functional Joint Stability. *Journal of Athletic Training*, 37(1), 71-79.
- Rival, C., Ceyte, H., & Olivier, I. (2005). Developmental changes of static standing balance in children. *Neuroscience Letters*, 376(2), 133-136. doi: 10.1016/j.neulet.2004.11.042
- Roberts, B., & Neitzel, R. (2018). *Noise exposure limit for children in recreational settings: Review of available evidence*.
- Roerdink, M., Hlavackova, P., & Vuillerme, N. (2011). Center-of-pressure regularity as a marker for attentional investment in postural control: A comparison between sitting and standing postures. *Human Movement Science*, 30(2), 203-212. doi: 10.1016/j.humov.2010.04.005
-

Referencias bibliográficas

- Roggia, B. (2010). *Estudo da postura e do equilíbrio corporal em escolares com respiração oral com idades entre 8 e 12 anos*. Recuperado de <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/6481>
- Rogol, A. D., Roemmich, J. N., & Clark, P. A. (2002). Growth at puberty. *Journal of Adolescent Health, 31*(6, Supplement), 192-200. doi: 10.1016/S1054-139X(02)00485-8
- Roll, J. P., & Vedel, J. P. (1982). Kinaesthetic role of muscle afferents in man, studied by tendon vibration and microneurography. *Experimental Brain Research, 47*(2), 177-190. doi: 10.1007/BF00239377
- Roll, J. P., Vedel, J. P., & Ribot, E. (1989). Alteration of proprioceptive messages induced by tendon vibration in man: A microneurographic study. *Experimental Brain Research, 76*(1), 213-222. doi: 10.1007/BF00253639
- Roncesvalles, M. N. C., Woollacott, M. H., & Jensen, J. L. (2001). Development of Lower Extremity Kinetics for Balance Control in Infants and Young Children. *Journal of Motor Behavior, 33*(2), 180-192. doi: 10.1080/00222890109603149
- Rose, D. J. (2014). *Equilibrio y movilidad con personas mayores*. Paidotribo.
- Rothwell, J. C. (1987). *Control of Human Voluntary Movement*. Recuperado de [//www.springer.com/la/book/9781468476903](http://www.springer.com/la/book/9781468476903)
- Rougier, P. R., & Bonnet, C. T. (2016). How providing more or less time to solve a cognitive task interferes with upright stance control; a posturographic analysis on healthy young adults. *Human Movement Science, 47*, 106-115. doi: 10.1016/j.humov.2016.03.001
- Ruffieux, J., Keller, M., Lauber, B., & Taube, W. (2015). Changes in Standing and Walking Performance Under Dual-Task Conditions Across the Lifespan. *Sports Medicine, 45*(12), 1739-1758. doi: 10.1007/s40279-015-0369-9
- Ruiz, L. M., Mata, E., & Moreno, J. A. (2007). Los problemas evolutivos de coordinación motriz y su tratamiento en la edad escolar: Estado de la cuestión. *Motricidad. European Journal of Human Movement, 18*, 1-17.
- Ruiz-Vargas, J. M. (2002). *Memoria y olvido: Perspectivas evolucionistas, cognitiva y neurocognitiva*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=116158>
- Rushworth, M. F. S., Johansen-Berg, H., Göbel, S. M., & Devlin, J. T. (2003). The left parietal and premotor cortices: Motor attention and selection. *NeuroImage, 20*, S89-S100. doi: 10.1016/j.neuroimage.2003.09.011
- Sanz, E. M., De Guzmán, R. B., Cerveron, C. C., & Baydal, J. M. (2004). Análisis de la interacción visuo-vestibular y la influencia visual en el control postural. *Acta Otorrinolaringológica Española, 55*(1), 9-16.
-

- Saxena, S., Cinar, E., Majnemer, A., & Gagnon, I. (2017). Does dual tasking ability change with age across childhood and adolescence? A systematic scoping review. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 58, 35-49. doi: 10.1016/j.ijdevneu.2017.01.012
- Schaefer, S. (2014). The ecological approach to cognitive–motor dual-tasking: Findings on the effects of expertise and age. *Frontiers in Psychology*, 5. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01167
- Schmid, M., Conforto, S., Lopez, L., Renzi, P., & D'Alessio, T. (2005). The development of postural strategies in children: A factorial design study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2(1), 29. doi: 10.1186/1743-0003-2-29
- Schmidt, R. A., Lee, T. D., Winstein, C., Wulf, G., & Zelaznik, H. N. (2018). *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis*. Human Kinetics.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 298(1089), 199-209.
- Shepard, N. T. (2002). Evaluation and management of balance system disorders. *Issues in Hand Book of Clinical Audiology*, 5, 390–407.
- Sherrington, C. S. (1910). Flexion-reflex of the limb, crossed extension-reflex, and reflex stepping and standing. *The Journal of Physiology*, 40(1-2), 28-121.
- Shields, R. K., Madhavan, S., Cole, K. R., Brostad, J. D., DeMeulenaere, J. L., Eggers, C. D., & Otten, P. H. (2005). Proprioceptive coordination of movement sequences in humans. *Clinical Neurophysiology*, 116(1), 87-92. doi: 10.1016/j.clinph.2004.07.019
- Sholberg, M. M. (1989). *Remediation of executive functions impairments*. En MM Sholberg & CA Mateer (Eds.), *Introduction to cognitive rehabilitation* (pp. 232-263). New York: The Guilford Press.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. (2000). Attentional demands and postural control: The effect of sensory context. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(1), M10-16.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (1985). The growth of stability: Postural control from a development perspective. *Journal of Motor Behavior*, 17(2), 131-147. doi: 10.1080/00222895.1985.10735341
- Shumway-Cook, A., Woollacott, M., Kerns, K. A., & Baldwin, M. (1997). The effects of two types of cognitive tasks on postural stability in older adults with and without a history of falls. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 52(4), M232-240.

Referencias bibliográficas

- Simoneau, E. M., Billot, M., Martin, A., Perennou, D., & Van Hoecke, J. (2008). Difficult memory task during postural tasks of various difficulties in young and older people: A pilot study. *Clinical Neurophysiology*, *119*(5), 1158-1165. doi: 10.1016/j.clinph.2008.01.020
- Simoneau, M., Mercier, P., Blouin, J., Allard, P., & Teasdale, N. (2006). Altered sensory-weighting mechanisms is observed in adolescents with idiopathic scoliosis. *BMC Neuroscience*, *7*(1), 68. doi: 10.1186/1471-2202-7-68
- Smith, F. (1989). *Comprensión de la lectura: Análisis psicolingüístico de la lectura y su aprendizaje*. Trillas.
- Sparto, P. J., Redfern, M. S., Jasko, J. G., Casselbrant, M. L., Mandel, E. M., & Furman, J. M. (2006). The influence of dynamic visual cues for postural control in children aged 7–12 years. *Experimental Brain Research*, *168*(4), 505-516. doi: 10.1007/s00221-005-0109-8
- St Clair-Thompson, H. L., & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology (2006)*, *59*(4), 745-759. doi: 10.1080/17470210500162854
- Steindl, R., Kunz, K., Schrott-Fischer, A., & Scholtz, A. W. (2006). Effect of age and sex on maturation of sensory systems and balance control. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *48*(6), 477-482. doi: 10.1017/S0012162206001022
- Stergiou, N., & Decker, L. M. (2011). Human movement variability, nonlinear dynamics, and pathology: Is there a connection? *Human Movement Science*, *30*(5), 869-888. doi: 10.1016/j.humov.2011.06.002
- Sternberg, R. J., & Sternberg, K. (2016). *Cognitive psychology*. Nelson Education.
- Stins, J. F., Ledebt, A., Emck, C., van Dokkum, E. H., & Beek, P. J. (2009). Patterns of postural sway in high anxious children. *Behavioral and Brain Functions*, *5*(1), 42. doi: 10.1186/1744-9081-5-42
- Strang, A. J., DiDomenico, A., Berg, W. P., & McGorry, R. W. (2013). Assessment of differenced center of pressure time series improves detection of age-related changes in postural coordination. *Gait and Posture*, *38*(2), 345-348. doi: 10.1016/j.gaitpost.2012.11.006
- Strauss, E., Sherman, E. M. S., & Spreen, O. (2006). *A Compendium of Neuropsychological Tests: Administration, Norms, and Commentary*. Oxford University Press.
- Suzuki, Y., Morimoto, H., Kiyono, K., Morasso, P. G., & Nomura, T. (2016). Dynamic Determinants of the Uncontrolled Manifold during Human Quiet Stance. *Frontiers in Human Neuroscience*, *10*. doi: 10.3389/fnhum.2016.00618
- Taguchi, K., & Igarashi, M. (1994). *Vestibular and neural front: Proceedings of the 12th International Symposium on Posture and Gait, Matsumoto, 3-7 October 1994*. Elsevier.
-

- Takken, T., Elst, E., Spermon, N., Helders, P. J. M., Prakken, A. B. J., & van der Net, J. (2003). The physiological and physical determinants of functional ability measures in children with juvenile dermatomyositis. *Rheumatology (Oxford, England)*, *42*(4), 591-595.
- Tanaka, T., Kojima, S., Takeda, H., Ino, S., & Ifukube, T. (2001). The influence of moving auditory stimuli on standing balance in healthy young adults and the elderly. *Ergonomics*, *44*(15), 1403-1412. doi: 10.1080/00140130110110601
- Teasdale, N., & Simoneau, M. (2001). Attentional demands for postural control: The effects of aging and sensory reintegration. *Gait & Posture*, *14*(3), 203-210.
- Teel, E. F., Register-Mihalik, J. K., Troy Blackburn, J., & Guskiewicz, K. M. (2013). Balance and cognitive performance during a dual-task: Preliminary implications for use in concussion assessment. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *16*(3), 190-194. doi: 10.1016/j.jsams.2012.09.007
- Thompson, C., Bélanger, M., & Fung, J. (2007). Effects of bilateral Achilles tendon vibration on postural orientation and balance during standing. *Clinical Neurophysiology*, *118*(11), 2456-2467. doi: 10.1016/j.clinph.2007.08.013
- Tirapu-Ustárrroz, J., García-Molina, A., Luna-Lario, P., Roig-Rovira, T., & Pelegrín-Valero, C. (2008). Modelos de funciones y control ejecutivo (I). *Revista de neurología*, *46*(11), 684-692.
- Tirapu-Ustárrroz, J., & Muñoz-Céspedes, J. M. (2005). Memoria y funciones ejecutivas. *Revista de neurología*, *41*(8), 475-484.
- Trew, M., & Everett, T. (2006). *Fundamentos del movimiento humano*. Masson.
- Tropp, H., Ekstrand, J., & Gillquist, J. (1984). Factors affecting stabilometry recordings of single limb stance. *The American Journal of Sports Medicine*, *12*(3), 185-188. doi: 10.1177/036354658401200302
- Trousselard, M., Barraud, P., Nougier, V., Raphel, C., & Cian, C. (2004). Contribution of tactile and interoceptive cues to the perception of the direction of gravity. *Cognitive Brain Research*, *20*(3), 355-362. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2004.03.008
- Urhausen, A., Gabriel, H., & Kindermann, W. (1995). Blood Hormones as Markers of Training Stress and Overtraining. *Sports Medicine*, *20*(4), 251-276. doi: 10.2165/00007256-199520040-00004
- Vaitl, D., Mittelstaedt, H., & Baisch, F. (1997). Shifts in blood volume alter the perception of posture. *International Journal of Psychophysiology*, *27*(2), 99-105. doi: 10.1016/S0167-8760(97)00053-6
-

Referencias bibliográficas

- Vaitl, D., Mittelstaedt, H., Saborowski, R., Stark, R., & Baisch, F. (2002). Shifts in blood volume alter the perception of posture: Further evidence for somatic graviception. *International Journal of Psychophysiology*, *44*(1), 1-11. doi: 10.1016/S0167-8760(01)00184-2
- van der Kooij, H., Jacobs, R., Koopman, B., & van der Helm, F. (2001). An adaptive model of sensory integration in a dynamic environment applied to human stance control. *Biological Cybernetics*, *84*(2), 103-115. doi: 10.1007/s004220000196
- van Galen, G. P., & van Huygevoort, M. (2000). Error, stress and the role of neuromotor noise in space oriented behaviour. *Biological Psychology*, *51*(2-3), 151-171.
- van Galen, G. P., & de Jong, W. P. (1995). Fitts' law as the outcome of a dynamic noise filtering model of motor control. *Human Movement Science*, *14*(4), 539-571. doi: 10.1016/0167-9457(95)00027-3
- Van Gemmert, A. W., & van Galen, G. P. (1997). Stress, neuromotor noise, and human performance: A theoretical perspective. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *23*(5), 1299-1313.
- Van Gemmert, A. W., & van Galen, G. P. (1998). Auditory stress effects on preparation and execution of graphical aiming: A test of the neuromotor noise concept. *Acta Psychologica*, *98*(1), 81-101.
- Villarrasa-Sapiña, I. (2019). *Influencia de la obesidad infantil sobre el control postural y la marcha*. Recuperado de <http://roderic.uv.es/handle/10550/70567>
- Villarrasa-Sapiña, I., García-Massó, X., Serra-Añó, P., Garcia-Lucerga, C., Gonzalez, L.-M., & Lurbe, E. (2016). Differences in intermittent postural control between normal-weight and obese children. *Gait & Posture*, *49*, 1-6. doi: 10.1016/j.gaitpost.2016.06.012
- Vuillerme, N., Forestier, N., & Nougier, V. (2002). Attentional demands and postural sway: The effect of the calf muscles fatigue. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *34*(12), 1907-1912. doi: 10.1249/01.MSS.0000039062.36895.AB
- Vuillerme, N., Nougier, V., & Teasdale, N. (2000). Effects of a reaction time task on postural control in humans. *Neuroscience Letters*, *291*(2), 77-80. doi: 10.1016/S0304-3940(00)01374-4
- Wardman, D. L., Taylor, J. L., & Fitzpatrick, R. C. (2003). Effects of galvanic vestibular stimulation on human posture and perception while standing. *The Journal of Physiology*, *551*(Pt 3), 1033-1042. doi: 10.1113/jphysiol.2003.045971
- Weaver, T. B., Janzen, M. R., Adkin, A. L., & Tokuno, C. D. (2012). Changes in Spinal Excitability During Dual Task Performance. *Journal of Motor Behavior*, *44*(4), 289-294. doi: 10.1080/00222895.2012.702142

- Weerdesteyn, V., Schillings, A. M., Galen, G. P. V., & Duysens, J. (2003). Distraction Affects the Performance of Obstacle Avoidance During Walking. *Journal of Motor Behavior*, 35(1), 53-63. doi: 10.1080/00222890309602121
- Welford, A. T. (1952). The 'Psychological Refractory Period' and the Timing of High-Speed Performance—A Review and a Theory. *British Journal of Psychology. General Section*, 43(1), 2-19. doi: 10.1111/j.2044-8295.1952.tb00322.x
- Welgampola, M., & Colebatch, J. (2001). Vestibulospinal reflexes: Quantitative effects of sensory feedback and postural task. *Experimental Brain Research*, 139(3), 345-353. doi: 10.1007/s002210100754
- Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S., & Parasuraman, R. (2015). *Engineering Psychology & Human Performance*. Psychology Press.
- Willems, T. M., Witvrouw, E., Delbaere, K., Philippaerts, R., De Bourdeaudhuij, I., & De Clercq, D. (2005). Intrinsic risk factors for inversion ankle sprains in females—A prospective study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 15(5), 336-345. doi: 10.1111/j.1600-0838.2004.00428.x
- Williams, H. G., Fisher, J. M., & Tritschler, K. A. (1983). Descriptive analysis of static postural control in 4, 6, and 8 year old normal and motorically awkward children. *American Journal of Physical Medicine*, 62(1), 12-26.
- Williams, M. A., LaMarche, J. A., Alexander, R. W., Stanford, L. D., Fielstein, E. M., & Boll, T. J. (1996). Serial 7s and Alphabet Backwards as brief measures of information processing speed. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 11(8), 651-659. doi: 10.1016/S0887-6177(96)80002-3
- Winter, D.A., Prince, F., Stergiou, P., & Powell, C. (1993). Medial-lateral and anterior-posterior motor responses associated with centre of pressure changes in quiet standing. *Neuroscience Research Communications*, 12(3), 141-148. Recuperado de Scopus.
- Winter, D. A. (1995). *Human balance and posture control during standing and walking*. doi: 10.1016/0966-6362(96)82849-9
- Winter, D. A., Patla, A. E., Ishac, M., & Gage, W. H. (2003). Motor mechanisms of balance during quiet standing. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13(1), 49-56. doi: 10.1016/S1050-6411(02)00085-8
- Wolff, D. R., Rose, J., Jones, V. K., Bloch, D. A., Oehlert, J. W., & Gamble, J. G. (1998). Postural balance measurements for children and adolescents. *Journal of Orthopaedic Research: Official Publication of the Orthopaedic Research Society*, 16(2), 271-275. doi: 10.1002/jor.1100160215
-

Referencias bibliográficas

- Wollesen, B., Voelcker-Rehage, C., Regenbrecht, T., & Mattes, K. (2016). Influence of a visual-verbal Stroop test on standing and walking performance of older adults. *Neuroscience*, 318, 166-177. doi: 10.1016/j.neuroscience.2016.01.031
- Woollacott, M., Debû, B., & Mowatt, M. (1987). Neuromuscular Control of Posture in the Infant and Child. *Journal of Motor Behavior*, 19(2), 167-186. doi: 10.1080/00222895.1987.10735406
- Woollacott, M. H. (2000). Editorial Systems Contributing to Balance Disorders in Older Adults. *The Journals of Gerontology: Series A*, 55(8), M424-M428. doi: 10.1093/gerona/55.8.M424
- Woollacott, M. H., & Shumway-Cook, A. (1990). Changes in Posture Control Across the Life Span—A Systems Approach. *Physical Therapy*, 70(12), 799-807. doi: 10.1093/ptj/70.12.799
- Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: A review of an emerging area of research. *Gait & Posture*, 16(1), 1-14. doi: 10.1016/S0966-6362(01)00156-4
- Wright, D. L., & Kemp, T. L. (1992). The Dual-Task Methodology and Assessing the Attentional Demands of Ambulation with Walking Devices. *Physical Therapy*, 72(4), 306-312. doi: 10.1093/ptj/72.4.306
- Wu, J., McKay, S., & Angulo-Barroso, R. (2009). Center of mass control and multi-segment coordination in children during quiet stance. *Experimental Brain Research*, 196(3), 329-339. doi: 10.1007/s00221-009-1852-z
- Yeh, T.-T., Cinelli, M. E., Lyons, J. L., & Lee, T. D. (2015). Age-related changes in postural control to the demands of a precision task. *Human Movement Science*, 44, 134-142. doi: 10.1016/j.humov.2015.08.021
- Young, L. R., Bernard-Demanze, L., Dumitrescu, M., Magnan, J., Borel, L., & Lacour, M. (2012). Postural performance of vestibular loss patients under increased postural threat. *Journal of Vestibular Research*, 22(2, 3), 129-138.
- Zijlstra, A., Ufkes, T., Skelton, D. A., Lundin-Olsson, L., & Zijlstra, W. (2008). Do dual tasks have an added value over single tasks for balance assessment in fall prevention programs? A mini-review. *Gerontology*, 54(1), 40-49. doi: 10.1159/000117808

7. ANEXOS

7. ANEXOS

Anexo 1. Tablas estudio 2.

Tabla 1A. ANOVA de Friedman sobre el efecto de la dificultad de la memoria de trabajo en el equilibrio (n = 123)

	$\chi^2(3)$	<i>p</i>
EA	16.86	0.001
MV _{AP}	69.84	0.001
MV _{ML}	28.00	0.001

EA = área en forma de elipse; MV_{AP} = velocidad media en la dirección antero-posterior; MV_{ML} = velocidad media en la dirección medio-lateral.

Tabla 2A. ANOVA de Friedman con los efectos de la dificultad de la tarea de memoria de trabajo sobre el rendimiento cognitivo (n = 115).

	$\chi^2(2)$	<i>p</i>
Respuestas correctas	185.86	0.001

Las respuestas correctas corresponden con el número de dígitos reportado de forma correcta.

Tabla 4. Tamaños del efecto de las comparaciones por pares entre condiciones.

		W	<i>p</i>	<i>r</i>
EA	ST-DT 3d	-0.29	0.453	0,27
	ST-DT 5d	-0.58	0.003	0,34
	ST-DT 7d	-0.58	0.003	0,35
	DT 3d-DT 5d	-0.29	0.503	0,23
	DT 3d-DT 7d	-0.29	0.503	0,22
	DT 5d-DT 7d	0.00	1.000	0,06
MV AP	ST-DT 3d	-1.05	0.001	0,61
	ST-DT 5d	-1.06	0.001	0,57

Anexos

	ST-DT 7d	-1.23	0.001	0,58
	DT 3d-DT 5d	0.01	1.00	0,05
	DT 3d-DT 7d	-1.71	1.00	0,17
	DT 5d-DT 7d	-1.8	1.00	0,21
MV ML	ST-DT 3d	-0.68	0.001	0,49
	ST-DT 5d	-0.72	0.001	0,41
	ST-DT 7d	-0.73	0.001	0,43
	DT 3d-DT 5d	0.05	1.00	0,04
	DT 3d-DT 7d	0.02	1.00	0,08
	DT 5d-DT 7d	-0.03	1.00	0,11
