

Efectos y relación entre el control Postural, la Propiocepción y la Doble Tarea

Ainhoa Nieto Guisado

<http://hdl.handle.net/10803/673490>

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.

TESIS DOCTORAL

Título	Efectos y relación entre el Control Postural, la Propiocepción y la Doble Tarea
Realizada por	Ainhoa Nieto Guisado
en el Centro	Facultad de Psicología, Ciencias de la Educación y del Deporte Blanquerna
y en el Departamento	Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport
Dirigida por	La Dra Mónica Solana-Tramunt y el Dr José Morales Aznar

Agradecimientos

Agradecimientos

Me gustaría comenzar este apartado recordando de manera especial mis 4 años de carrera en la Universidad de Ciencias del Deporte de Extremadura, donde comencé a forjar la mujer en la que me he convertido, a descubrir el poder del deporte en el cuerpo y la mente humana y a identificar que camino quería escoger de entre todas las posibilidades que esta carrera oferta. Gracias a profesores como Alberto Moreno, Sergio Ibáñez, Guillermo Olcina, Jesús Dama y Juan Pedro Fuentes entre otros. Además de los docentes, si algo me llevo de esta etapa son los compañeros y amigos que me acompañaron durante ella, gracias Marta Sánchez y Julián Polo, vosotros también formáis parte de esto.

Mi apoyo incondicional durante estos años ha sido mi amiga Palmira Huertas, hemos compartido la mayor parte de nuestra vida, académica y personal. Gracias por todo lo que siempre has dado por mí, por confiar en que lo conseguiría, eres parte del todo.

Al finalizar el grado tenía claro donde me quería enfocar y aquí llegué, a Barcelona, donde realicé el máster que me abrió las puertas para hoy día estar escribiendo esto. Conocí a personas que se quedarían a mi lado para siempre y me darían el impulso para dedicarme a lo que actualmente ocupa todo mi tiempo, la investigación. Necesito hacer una mención especial a Alba Acevedo, Carmen Masot, Andrea Urrea, Belén Navarro, Neus Barceló, Raquel Gámez, Carlota Granados y Vanesa Minacore, mi familia catalana.

José Morales y Mónica Solana, mis compañeros de batalla. Se han convertido en mucho más que compañeros de trabajo, a parte de ser mi tutor y directora de tesis, figuras esenciales en mi doctorado, son los que me guían y acompañan en cada paso, son familia

Agradecimientos

y amigos que disfrutaban de mis logros y se preocupaban de mis fracasos. Gracias por compartir conmigo vuestra sabiduría y enseñanza, por implicaros en el desarrollo de esta tesis, por confiar y apostar en mí y sobre todo por acompañarme en este proceso, no podría haber elegido mejores compañeros, sin vosotros nada de esto sería posible.

Gracias a todos los sujetos que han formado parte de esta aventura, al club baloncesto Doncel y al club natación Sant Andreu, amigos y amigas, familiares, compañeros de trabajo, entrenadores, compañeros de doctorado, Joan Aguilera, Cristina Cabreja, Alberto Ortigón, Adrià Marco; y profesores y compañeros de laboratorio como Bernat Buscá entre otros.

El mayor de mis agradecimientos va hacia mi familia, ese pulmón incansable que ha apostado por cada una de mis locuras y ha confiado en mí sin dudar ni un instante que conseguiría todo aquello que me propusiera, que me ha inculcado el valor del esfuerzo y el sacrificio y sobre todo, el amor hacia el deporte. Gracias papá, Rafael Nieto, por enseñarme a no tirar la toalla nunca, gracias mamá, Paola Guisado, por darme tu garra y fuerza para afrontar la vida, gracias a mis tíos Tonibel y José Mari por demostrarme que la vida hay que vivirla, pero sobre todo gracias a ti, Paola Nieto, mi mayor suerte es tenerte como hermana y como referente en todo lo que me proponga en la vida, gracias por ver lo que yo no veo, por no dejarme que desistiera y sobre todo por hacerme creer en mí. Familia con vosotros lo conseguiré siempre todo, este sueño también es vuestro.

Muchas gracias.

Resúmenes

Resumen

La presente tesis doctoral consta de tres estudios diferenciados cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento de las diferentes variables que afectan a la propiocepción, el control postural y la función cognitiva, así como la relación existente entre ellas.

Estudio 1: El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción. *Objetivo:* Analizar el papel mediador de la visión en la relación entre la propiocepción consciente de los miembros inferiores y el control postural bipodal en diferentes grupos de edad. *Metodología:* Participantes 119 sujetos sanos y físicamente activos. *Resultados:* La ausencia de la visión, tiene un papel mediador de forma indirecta en los resultados de la propiocepción y de los test de control postural con ojos cerrados, pero no hay correlación entre los resultados en los test de control postural y propiocepción.

Estudio 2: Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas. *Objetivo:* analizar la influencia de una tarea cognitiva en el rendimiento de los test de control motor y propiocepción realizados de manera simultánea. *Metodología:* Participantes 119 sujetos sanos y físicamente activos. *Resultados:* Introducir una tarea cognitiva simultánea a la motriz empeora los resultados de los test de control postural, pero no afecta a la propiocepción. A mayor exigencia de la tarea motriz, peores son los resultados de control postural sin tarea cognitiva.

Estudio 3: Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor, sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado. *Objetivo:* investigar la influencia de 8 semanas de entrenamiento motor-cognitivo en la mejora de las pruebas de propiocepción y control

Resúmenes

postural con tarea cognitiva (música cantada) simultáneamente. *Metodología:* Participantes 20 adultos mayores físicamente activos (edad media 73.35 años). *Resultados:* El entrenamiento provocó mejoras significativas en el rendimiento de los test de ambos grupos. No hubo diferencias en la mejora del grupo experimental con respecto al grupo control.

Los participantes de todos los estudios, dieron su consentimiento para participar en cada uno de ellos de acuerdo con la última versión de la declaración de Helsinki (2013).

Palabras clave: control postural, equilibrio, control motor, propiocepción, dual task, deterioro cognitivo, prevención de caídas, calidad de vida, Reserva Cognitiva.

Resum

La present tesi doctoral consta de tres estudis diferenciats, l'objectiu dels quals va ser avaluar el comportament de les diferents variables que afecten a la propiocepció, el control postural i la funció cognitiva, així com la relació existent entre elles.

Estudi 1: El paper mediador de la visió en la relació entre el control postural i la propiocepció. *Objectiu:* Analitzar el paper mediador de la visió en la relació entre la propiocepció conscient dels membres inferiors i el control postural bipodal en diferents grups d'edat. *Metodologia:* Participants 119 subjectes sans i físicament actius. *Resultats:* L'absència de la visió, té un paper mediador de forma indirecta en els resultats de la propiocepció i del test de control postural amb ulls tancats, però no hi ha correlació entre els resultats en el test de control postural i propiocepció.

Estudi 2: Els efectes de la tasca dual en les habilitats motores i cognitives. *Objectiu:* analitzar la influència d'una zona cognitiva en el rendiment del test de control motor i propiocepció realitzats de manera simultània. *Metodologia:* Participants 119 subjectes sans i físicament actius. *Resultats:* Introduir una tasca cognitiva simultània a la motriu, empitjora els resultats del test de control postural, però no afecta a la propiocepció. A major exigència de la tasca motriu, pitjors són els resultats de control postural sense tasca cognitiva.

Estudi 3: Efectes de 8 setmanes d'entrenament cognitiu-motor, sobre la propiocepció i el control postural en condicions de zona única i doble en adults majors sans: assaigó clínic aleatoritzat. *Objectiu:* investigar la influència de 8 setmanes

Resúmenes

d'entrenament motor-cognitiu a la millora de les proves de propiocepció i control postural amb tasca cognitiva (música cantada) simultàniament. *Metodologia:* Participants 20 adults grans físicament actius (edat mitjana 73,35 anys). *Resultats:* L'entrenament va provocar millores significatives en el rendiment del test de tots dos grups. No hi ha diferències en la millora del grup experimental respecte al grup de control.

Els participants de tots els estudis, van donar el seu consentiment per participar en cadadacun dels estudis d'acord amb la darrera versió de la declaració de Helsinki (2013).

Paraules clau: control postural, equilibri, control motor, propiocepció, dual task, deteriorament cognitiu, prevenció de caigudes, qualitat de vida, Reserva Cognitiva.

Abstract

The present doctoral thesis consists of three differentiated studies whose objective was to evaluate the behaviour of the different variables that are listed in the proprioception, postural control and cognitive function, as well as the relationship between them.

Study 1: The mediating role of vision in the relationship between postural control and proprioception. *Objective:* To analyse the mediating role of vision in the relationship between conscious proprioception of the lower limbs and bipodal postural control in different age groups. *Methodology:* Participants 119 healthy and physically active subjects. *Results:* The absence of vision indirectly averages in the results of proprioception and postural control tests with closed eyes, but there is no correlation between the results in the postural control tests and proprioception.

Study 2: The effects of dual task on motor and cognitive skills. *Objective:* to analyse the influence of a cognitive task on the performance of motor control and proprioception tests performed simultaneously. *Methodology:* Participants 119 healthy and physically active subjects. *Results:* Introducing a simultaneous cognitive task to the motor, worsens the results of postural control tests worsens their results, but does not affect proprioception. The greater the requirement for the motor task, the worse the results of postural control without cognitive task.

Study 3: Effects of 8-weeks cognitive-motor training on proprioception and postural control in single- and double-task conditions in healthy older adults: randomized

Resúmenes

clinical trial. *Objective:* to investigate the influence of 8 weeks of motor-cognitive training in the improvement of the tests of proprioception and postural control with cognitive task (sung music) simultaneously. *Methodology:* participants: 20 physically active older adults (mean age 73.35 years). *Results:* The training caused significant improvements in the test performance of both groups. There were no differences in the improvement of the experimental group with respect to the control group.

Participants in all studies gave their consent to participate in each of the studies according to the latest version of the Helsinki Declaration (2013).

Keywords: postural control, balance, motor control, proprioception, dual task, cognitive impairment, fall prevention, quality of life, Cognitive Reserve.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	19
2. MARCO TEÓRICO	23
2.1. PROPIOCEPCIÓN.....	23
2.1.1. Conceptualización.....	23
2.1.2. Recepción de la información propioceptiva	24
2.1.3. Mecanismos y bases neurofisiológicas	28
2.1.4. Tipos de propiocepción.....	29
2.1.5. Propiocepción y edad.....	31
2.1.6. Métodos de medida	34
2.1.7. Programas de entrenamiento.....	37
2.2. CONTROL POSTURAL.....	38
2.2.1. Conceptualización.....	38
2.2.2. Recepción de la información	41
2.2.3. Mecanismos y bases neurofisiológicas	42
2.2.4. Ajustes posturales	50
2.2.5. Control postural y edad.....	53
2.2.6. Métodos de medida	55
2.2.6. Programas de entrenamientos	58
2.3. TAREA DUAL.....	59
2.3.1. Conceptualización.....	59

Índices

2.3.2. Tareas cognitivas	61
2.3.4. Modelos teóricos	63
2.3.5. Tarea cognitiva y edad	66
2.3.6. Evaluación de la tarea cognitiva	68
1.3.7. Programas de entrenamientos	71
3. JUSTIFICACIÓN DE LA UNIDAD TEMÁTICA	75
4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	79
4.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO 1:	79
4.2. HIPÓTESIS DEL ESTUDIO 1:	79
4.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO 2:	80
4.4. HIPÓTESIS DEL ESTUDIO 2:	80
4.5. OBJETIVOS DEL ESTUDIO 3:	81
4.6. HIPÓTESIS DEL ESTUDIO 3:	81
5. ESTUDIO 1:	83
5.1. INTRODUCCIÓN:	85
5.2. MATERIAL Y MÉTODOS	88
5.2.1. Diseño	88
5.2.2. Participantes	89
5.2.3. Procedimiento	90
5.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	94

Índices

5.4. RESULTADOS.....	97
5.5. DISCUSIÓN	100
5.6. LIMITACIONES Y LÍNEAS FUTURAS	107
5.7. CONCLUSIONES	107
6. ESTUDIO 2:	109
6.1. INTRODUCCIÓN	111
6.2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	115
6.2.1. Diseño	115
6.2.2. Participantes	115
6.2.3. Procedimiento	117
6.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	121
6.4. RESULTADOS.....	122
6.5. DISCUSIÓN	127
6.6. LIMITACIONES Y LÍNEAS FUTURAS	135
6.7. CONCLUSIONES	136
7. ESTUDIO 3:	139
7.1 INTRODUCCIÓN	141
7.2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	146
7.2.1. Diseño	146
7.2.2. Participantes	147
7.2.3. Procedimiento	147

Índices

7.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	154
7.4. RESULTADOS.....	155
7.5. DISCUSIÓN	160
7.6. LIMITACIONES Y LÍNEAS FUTURAS	170
7.7. CONCLUSIONES	172
8. CONCLUSIONES GENERALES	173
8.1. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO 1:	174
8.2. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO 2:	175
8.3. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO 3:	176
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	177
10. ANEXOS:.....	219
10.1 IPAQ (ANEXO 1).....	219
10.2. ESCALA DE RESERVA COGNITIVA (ANEXO 2)	223
10.3. PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO ESTUDIO 3	225
11. TRABAJOS PUBLICADOS Y/O ENVIADOS A PUBLICAR.....	231

Índices

Índice De Tablas

Tabla 1. Características Demográficas De Los Participantes.	89
Tabla 2. Coeficientes De Correlación Entre Propiocepción Y Control Postural Con Ojos Abiertos Y Cerrados.	99
Tabla 3. Estimación De La Mediación De La Variable (Var_Oc) En La Relación Entre Propiocepción Y Las Variables De Control Postural Con Oc	100
Tabla 4. Características Demográficas De Los Participantes.	116
Tabla 5. Coeficiente De Correlación De Pearson'S De La Variable Reserva Cognitiva Y La Variable Volumen De Actividad Física (Mets), Con Las Variables De Control Postural Y Propiocepción.....	160

Índices

Índices

Índice de figuras

Figura 1. Husos Musculares. Tomado Solana-Tramunt 2011 (29).....	25
Figura 2. Órgano Tendinoso De Golgi. Tomado De Solana-Tramunt 2011 (30).....	26
Figura 3. Corpúsculo De Pacini. Tomado De Solana-Tramunt 201 (32).	27
Figura 4. Corpúsculo De Ruffini. Tomado De Solana-Tramunt 2011 (32).....	28
Figura 5. Factores Condionantes De La Propiocepción. Tomada De Solana-Tramunt 2011 (75).....	31
Figura 6. App Goniometer Pro.....	36
Figura 7. Las Cinco Vías Relacionadas Con El Control De Los Movimientos Coordinados Del Cuerpo Y Extremidades. Tomado De Shepard Nt (71)	43
Figura 8. Las Porciones Del Oído. Tomado De Moore Y Dalley (2009).	47
Figura 9. Oído Interno Y Aparato Vestibular. Adaptado De Solana-Tramunt (2011) (35).	47
Figura 10. Plataforma De Fuerzas	56
Figura 11. Localización De Las Funciones Cognitivas En Las Áreas Del Cerebro. Tomado De Portellano (2005).	63
Figura 12. Botas Ortopédicas Usadas En El Estudio.	92
Figura 13. Comparaciones Por Pares Condición Por Grupo.....	97
Figura 14. Comparaciones Por Pares Grupo Por Condición.....	97
Figura 15. Descriptivos Propiocepción Por Grupos De Edad.....	98
Figura 16. Botas Ortopédicas Usadas En El Estudio.	118
Figura 17. Comparaciones Por Pares Del Factor Grupo En Función Del Factor Posición.	123

Índices

Figura 18. Comparaciones Por Pares Del Factor Posición En Función Del Factor Grupo.	124
Figura 19. Comparaciones Por Pares Del Factor Condición En Función Del Factor Posición.....	125
Figura 20. Comparaciones Por Pares Del Factor Posición En Función Del Factor Condición.....	126
Figura 21. Comparaciones Por Pares Del Factor Grupo En Función De La Condición En Las Variables De Propiocepción.....	127
Figura 22. Botas Ortopédicas Usadas En El Estudio.....	149
Figura 23. Comparaciones Por Pares Del Factor Grupo En Función Del Tiempo En Las Variables De Control Postural Ojos Abiertos.....	156
Figura 24. Comparaciones Por Pares Del Factor Grupo En Función Del Tiempo En Las Variables De Control Postural Ojos Cerrados.....	157
Figura 25. Comparaciones Por Pares Del Factor Grupo En Función Del Tiempo En Las Variables De Control Postural Unipodal Pierna Dominante.....	158
Figura 26. Comparaciones Por Pares Del Factor Grupo En Función Del Tiempo En La Variable De Propiocepción.....	159

Glosario

GLOSARIO:

DT: Dual Task

RC: Reserva Cognitiva

ROA: Romberg Bipodal Ojos Abiertos

OA: Ojos Abiertos

ROC: Romberg Bipodal Ojos Cerrados

OC: Ojos Cerrados

RUD: Romberg Unipodal Ojos Abiertos Dominante

UD: Unipodal pierna Dominante

AEr45°: Error Absoluto de reposicionamiento articular a 45ª grados

CoP: Centro de Presiones

CoG: Centro de Gravedad

BoS: Base de Sustentación

VM_{AP}: Velocidad Media en dirección Antero-Posterior

VM_{ML}: Velocidad Media en dirección Medio-Lateral

DE: Desviación Estándar

IQR: Rango Intercuartílico

SPSS: Paquete Estadístico para Ciencias Sociales (de las siglas en ingles *Statistical Package for the Social Sciences*).

SNC: Sistema Nervioso Central

SN: Sistema Nervioso

Glosario

LCA: Ligamento Cruzado Anterior

TTDPM: Umbral para la Detección del Movimiento Pasivo

JPR: Reproducción de la Posición de las Articulaciones

AMEDA: Evaluación de la Discriminación de la Extensión del
Movimiento Activo

TC: Tarea Cognitiva

GC: Grupo Control

GE: Grupo Experimental

RVC: Reflejos Vestibulocervicales

RVO: Reflejos Vestibulooculares

RVE: Reflejos Vestibuloespinal

Introducción

1. INTRODUCCIÓN

La presente tesis constituye la culminación del trabajo realizado durante cuatro años académicos vinculados al programa de doctorado en Ciencias de la Educación y del Deporte de la Facultad de Psicología, Ciencias de la Educación y del Deporte (FPCEE) Blanquerna, Universitat Ramon Llull.

El proyecto surge de la necesidad de dar respuestas adicionales al trabajo final de máster (Máster Universitario de Entrenamiento, Actividad física y Salud), basado en la influencia de una sesión propioceptiva en la técnica del tiro de baloncesto y a otras hipótesis vinculadas a la tesis doctoral de la que es mi directora (Solana-Tramunt, 2011), también a cerca del planteamiento metodológico del entrenamiento propioceptivo y cómo éste se relacionaba con otras cualidades perceptivo motrices como el equilibrio.

Hasta donde sabemos, sigue siendo de vital importancia saber como se relacionan las diferentes cualidades dependientes del Sistema Nervioso para su correcto desarrollo en el ámbito del ejercicio físico, el deporte y la rehabilitación (Wang et al., 2016). Adicionalmente, se conoce la importancia de cualidades como el control postural, la propiocepción y la tarea cognitiva en la prevención de lesiones (Suner-Keklik et al., 2017; Trombetti et al., 2011), en la prevención de caídas (Bayot et al., 2020; Velastegui Yunda, 2018) y en el desarrollo de programas de entrenamiento destinados a la mejora de dichas cualidades y la vida cotidiana de las personas (Falbo et al., 2016; Ghai et al., 2017). No obstante, desde nuestro punto de vista, existe un vacío en el conocimiento del efecto de un mismo programa de entrenamiento en dichas cualidades perceptivo-motrices y las particularidades de su interacción en diferentes grupos de edad.

Introducción

Paralelamente, cada vez más autores están implementando programas de entrenamientos duales (motor-cognitivo) (Kim & Yoo, 2019; Varela-Vásquez et al., 2020), en sus sesiones tanto deportivas como de rehabilitación, especialmente en personas mayores con problemas cognitivos o motrices, con el fin de reducir las caídas y mejorar su calidad de vida (Bayot et al., 2020).

Por todos estos motivos, surge la necesidad de saber cómo estas cualidades dependientes del sistema nervioso (propiocepción, control postural y tarea cognitiva), se relacionan e interfieren entre sí, y a su vez, cómo los especialistas del deporte deben manejarlas en sus entrenamientos, tanto físico-deportivos como de rehabilitación. Para ello hemos realizado tres estudios diferenciados que siguen una misma línea temática, y con los que hemos pretendido dar respuesta a las preguntas que nos surgían y a los objetivos descritos en este proyecto.

En nuestro primer estudio quisimos conocer la relación entre la propiocepción y el control postural, ya que se acepta que el trabajo propioceptivo puede ayudar a prevenir lesiones e influye en el mantenimiento del control postural, pero se desconoce que el estímulo del control postural mejore, estimule o comprometa de forma epicrítica el funcionamiento de los receptores propioceptivos. Además, también nos centramos en analizar el papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción, pues sabemos la importancia de la visión en la percepción de una posición articular.

Introducción

En segundo lugar y a través del estudio II, quisimos conocer cómo influía en las pruebas de control postural y propiocepción, la inclusión de una tarea cognitiva de manera simultánea, puesto que se conoce que en el desarrollo de las actividades de la vida diaria no hay ejecución motriz que no vaya acompañada de un procesamiento cognitivo.

Por último, realizamos un ensayo clínico aleatorizado de medidas repetidas pre-post intervención en el estudio III, con el que pretendíamos observar el efecto de una propuesta de entrenamiento que integrara acciones de control postural, propioceptivo y doble tarea cognitiva en el rendimiento de los test de control postural y propiocepción. Para ello contamos con una muestra de adultos mayores, población muy estudiada actualmente dado el incremento de la esperanza de vida y la necesidad de mejorar la calidad de vida y frenar el deterioro cognitivo de dicha población.

Para el desarrollo de esta tesis, quisimos contar con una muestra que abarcara diferentes grupos de edad, desde adolescentes hasta adultos mayores, con el fin de poder dar explicaciones al comportamiento de las variables relacionadas con el control postural y la propiocepción, y dar respuesta a las posibles adaptaciones en los entrenamientos en función de la edad.

Para la medición de las diferentes variables descritas en la tesis, hemos utilizado instrumentos válidos y fiables entre los que destacamos la plataforma de fuerzas para la medición del control postural a través del Test de Romberg, una de las pruebas y aparatología más utilizada para medir el control postural (García, 2017; Karmali et al., 2017). En cuanto a la propiocepción hemos utilizado una app móvil llamada *Goniometer*

Introducción

Pro. Este tipo de instrumentación cada vez tiene más peso en el mundo de la investigación por ser un método sencillo y económico y estar validado por los autores (Melián-Ortiz et al., 2019; Mourcou et al., 2016). Y por último, para la medición de la tarea cognitiva, hemos utilizado la subescala del Test Barcelona denominada “evocación categorial en asociaciones”, que consiste en que el sujeto diga el mayor número de palabras posibles sobre un campo semántico determinado (Peña-Casanova et al., 2009).

Esta tesis ha sido presentada según la normativa académica del programa de doctorado en Ciencias de la Educación y del Deporte de la FPCEE Blanquerna, Universidad Ramon Llull. El documento se ha dividido en 6 partes: **introducción**, donde se ha presentado, contextualizado y justificado el estudio; **marco teórico**, para hacer una aproximación conceptual y detallar el estado de la cuestión; **justificación de la unidad temática** en la que se explican las inquietudes surgidas tras el análisis de la bibliografía existente; **objetivos e hipótesis**; y **los tres estudios** diferenciados con su marco teórico, metodología, análisis estadístico, resultados, discusión, limitaciones y líneas futuras y conclusiones. Los tres estudios tienen una vinculación entre ellos y tienen la finalidad de dar respuesta a los objetivos propuestos y en un futuro ser publicados en revistas científicas; **conclusiones** generales y específicas de cada estudio, donde se refutan las hipótesis; y por último las **referencias bibliográficas**. Cuenta con un apartado adicional en el que se encuentran todos los **anexos** (documentos utilizados en la tesis).

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Propiocepción

2.1.1. Conceptualización

A lo largo de los años, la propiocepción ha sido estudiada por multitud de autores que la definen de diferentes maneras. La palabra propiocepción proviene del latín Proprius que quiere decir “propio” y se combina con percepción, por lo que si se traduce de manera literal podríamos decir que es una percepción de sí mismo.

El pionero en su estudio fue Sherrington (1906), que la definió como el estado funcional de las articulaciones y de los músculos que nos permiten ser conscientes de los movimientos o de la posición de una parte del cuerpo, o responder de manera inconsciente a la modificación involuntaria de la posición articular para mantener el equilibrio, el tono muscular o la coordinación muscular. Sin embargo, otros autores como Lephart et al., (1997), la consideraron una percepción especial del tacto que permitía la sensación de movimiento y posición articular, además de la importancia del sentido de la posición y la velocidad, haciendo referencia a la kinestesia, de la cual forma parte la propiocepción junto con el sistema vestibular, visual y receptores cutáneos (Berthoz, 2000). A todo ello, se le sumaba quienes hablaban de la propiocepción y hacían referencia a la sensación de fuerza, posición estática del segmento corporal, desplazamiento, velocidad, aceleración y sentido muscular, esfuerzo o pesadez (Niessen et al., 2009; Proske & Gandevia, 2012). Actualmente se acepta que la propiocepción es la capacidad de un organismo para percibir la posición y los movimientos de las articulaciones y a su vez la percepción de la fuerza en

Marco Teórico

el espacio, una manifestación cinestésica de las cualidades perceptivo-motrices que nos permitirá comprender mejor la postura y el movimiento propio (Ferlinc et al., 2019; Solana-Tramunt, 2011). La percepción se entiende no sólo como la recepción pasiva de una señal sensorial, si no que también está modelada por la memoria y el aprendizaje. Desde este punto de vista, la propiocepción no es meramente una propiedad fisiológica, sino que también tiene aspectos psicológicos (Han et al., 2013). Es por ello que el desempeño de la propiocepción va a estar determinado tanto por la calidad de la señal recibida, como de la capacidad propioceptiva del propio individuo y como medida de la respuesta neuromuscular a un estímulo concreto, que debe integrar la entrada sensorial, el procesamiento central y la salida motora en un circuito cerrado (Witchalls et al., 2012).

Podemos afirmar que cualquier movimiento está intrínsecamente ligado a la definición dada por Sherrington de la propiocepción, pues el cambio en la posición y el movimiento de las articulaciones va acompañado de cambios en la información con respecto a los sentidos de la posición y del movimiento, ambos asociados a las actividades que realizan los seres humanos en su día a día, entendiendo así la importancia que tiene la propiocepción en la identificación, organización e interpretación de la información sensorial para poder representar y comprender el medio que nos rodea (Schacter et al., 2009).

2.1.2. Recepción de la información propioceptiva

Los receptores propioceptivos reciben estímulos mecánicos e informan del nivel de elongación y tensión de los músculos, cápsulas, ligamentos y meniscos articulares (Lephart

Marco Teórico

et al., 2003), dando una información completa de la posición o del movimiento de las articulaciones del cuerpo. Se diferencian por su capacidad adaptativa y su umbral de estimulación, estos receptores son:

- Husos musculares (figura 1): Se encuentran en la mayoría de la musculatura estriada del cuerpo humano y tienen como función, informar sobre el grado de estiramiento del músculo realizando ajustes para su contracción o relajación, con el objetivo de que el músculo siempre tenga una longitud óptima (Lephart & Fu, 2000).

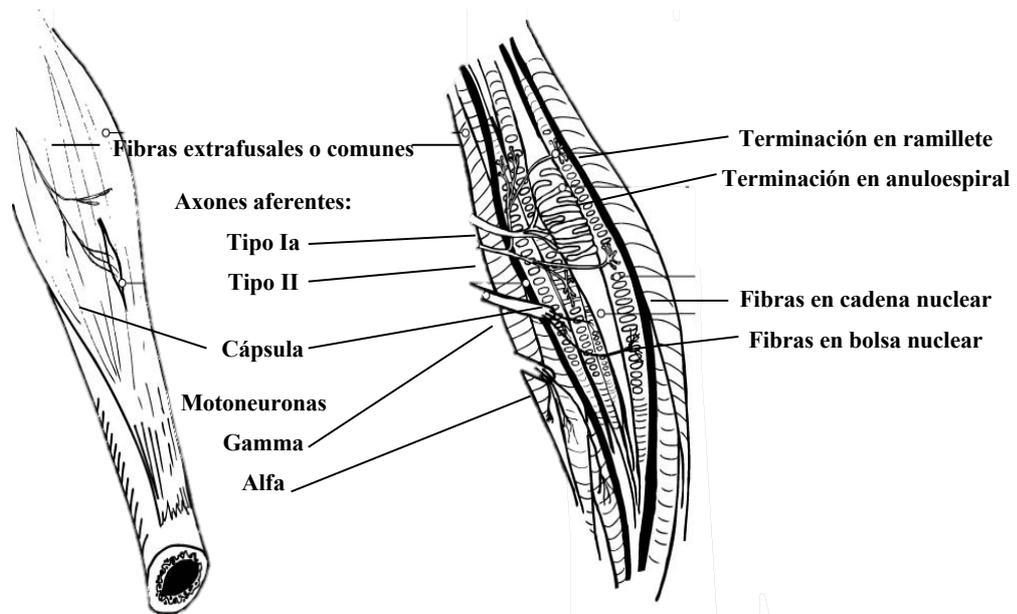


Figura 1. Husos musculares. Tomado Solana-Tramunt 2011 (29).

- Órgano tendinoso de Golgi (figura 2): Se encuentran en la unión músculo-tendinosa, meniscos y ligamentos, y su objetivo es estimular en los extremos del desplazamiento articular e informar sobre la posición articular y sobre la dirección

Marco Teórico

del movimiento, pudiendo desencadenar el reflejo de relajación repentina del vientre muscular con el que están relacionados, siendo un protector muscular que mantiene los niveles de fuerza constantes cuando se desencadenan mecanismos que hace que disminuya la fuerza, como la fatiga muscular (Lephart & Fu, 2000; Saavedra et al., 2003).

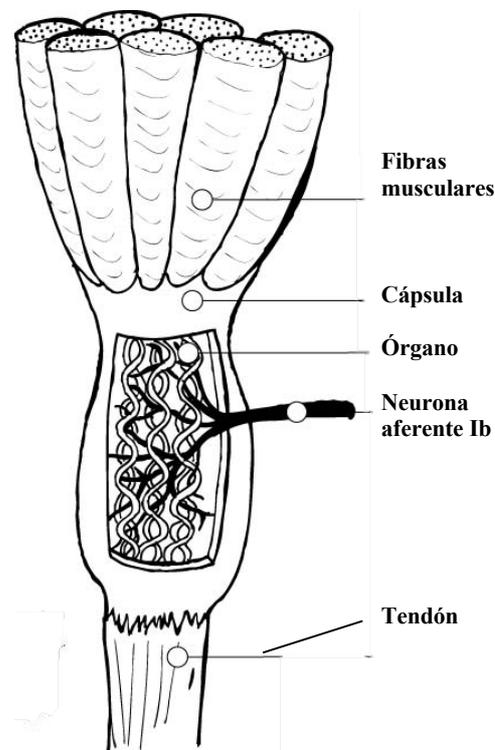


Figura 2. Órgano Tendinoso de Golgi.
Tomado de Solana-Tramunt 2011 (30).

- = Corpúsculo de Pacini (figura 3): son terminaciones nerviosas que se localizan en el tejido subcutáneo, las membranas interósea, los ligamentos, las cápsulas articulares

Marco Teórico

y los meniscos y su función principal es la de detectar las vibraciones y las aceleraciones o desaceleraciones de la articulación (Purves et al., 2008; Saavedra et al., 2003).

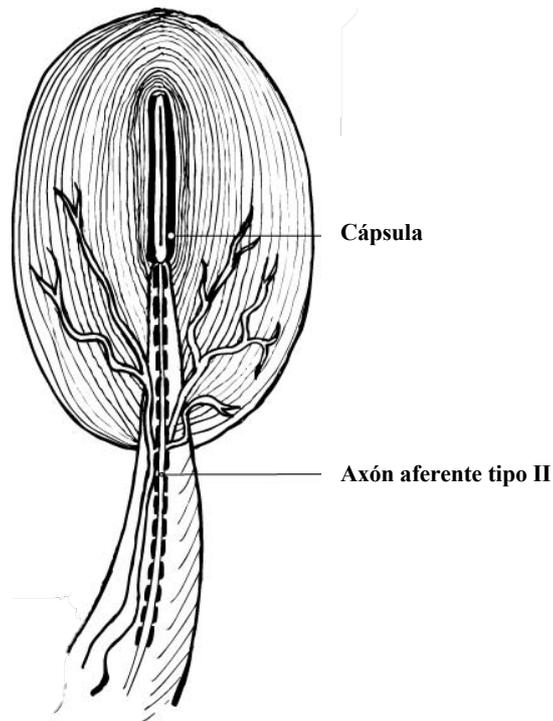


Figura 3. Corpúsculo de Pacini. Tomado de Solana-Tramunt 201 (32).

- Corpúsculo de Ruffini (figura 4): son terminaciones nerviosas que se encuentran en las bolsas articulares, los ligamentos, las cápsulas articulares y los meniscos, y su morfología los hace ser sensibles al estiramiento, pudiendo detectar la posición, la presión interarticular, los límites y la velocidad del movimiento articular (Purves et al., 2008; Saavedra et al., 2003).

Marco Teórico

- Terminaciones libres y otros receptores articulares: se encuentran por la mayoría de las estructuras articulares (cápsulas articulares, ligamentos, meniscos), activándose cuando hay peligro de dañar el tejido articular por una causa mecánica o química (en especial por la presencia de agentes inflamatorios como la serotonina o la histamina, entre otros), pudiendo identificar la posición articular (Purves et al., 2008).

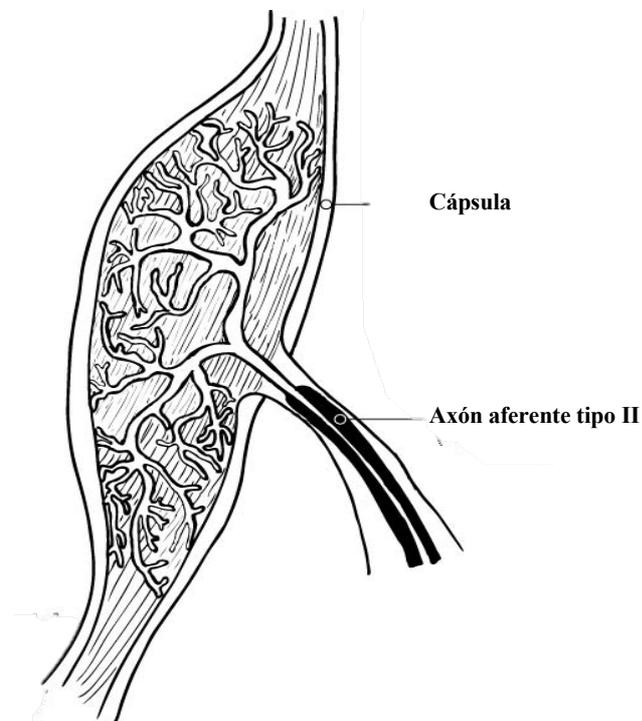


Figura 4. Corpúsculo de Ruffini. Tomado de Solana-Tramunt 2011 (32).

2.1.3. Mecanismos y bases neurofisiológicas

Una vez recibida la información de todas las partes del cuerpo a los receptores propioceptivos, el impulso viajará por el tejido nervioso hasta la médula espinal mediante

Marco Teórico

mecanismos de suma, activación y modulación que se producen como resultado de varias combinaciones de sinapsis excitadoras e inhibitorias con las neuronas aferentes. En las regiones supraespinales del sistema nervioso central (SNC), como el tronco encefálico y la corteza, se modula la información sensorial aferente (Riemann & Lephart, 2002), procesando tanto el tacto como la propiocepción (Wolff & Shepard, 2013).

Es a través de los receptores neuronales situados en el SNC por el que se codifica la información propioceptiva, que viaja a través del cerebelo o el tálamo transmitiendo las señales a la corteza somatosensorial (Guyton, 2016).

Llegados a este punto y en función del tracto por el que viajan las neuronas a través de la médula espinal, una vez recibida la información propioceptiva esta tiene dos modalidades: la consciente, relacionada con la percepción de la posición y el movimiento articular y de la fuerza (tacto, presión, vibración); y la inconsciente, que es la responsable del control reflejo postural, la estabilidad y tiempos de reacción muscular (ángulos de las articulaciones, posición de extremidades y tensión muscular) (De Antolín, 1999; Solana-Tramunt, 2011). La falta de cualquiera de ellas influye en el rendimiento motor (Guney-Deniz & Callaghan, 2018).

2.1.4. Tipos de propiocepción

La propiocepción se clasifica en función del punto de vista cinesiológico o neurofisiológico (Solana-Tramunt, 2011).

La Cinesiológica hace referencia a la capacidad de percepción del grado o ángulo de movimiento articular (Lephart et al., 2003), y la componen la cinestesia y la estatestesia,

Marco Teórico

ambas componentes de la propiocepción. La estatestesia se define como la capacidad de percibir la posición o el ángulo en el que se encuentran más de una articulación estática sin necesidad de utilizar la visión para ello, gracias a la información recibida por los husos musculares, el órgano de Golgi y los receptores de Ruffini (Solana-Tramunt, 2011). Por otro lado, la cinestesia es definida como la conciencia consciente del movimiento articular (cambios articulares), y hay muchos autores que la consideran una de las submodalidades de la propiocepción, haciendo de esta un constructo que contiene el sentido de la posición y la sensación del movimiento articular (Lephart et al., 1997).

Desde el punto de vista neurofisiológico, la propiocepción hace referencia al nivel del sistema nervioso (SN) al que llegan las informaciones aferentes recogidas por los receptores propioceptivos, o la capacidad de integrar las señales sensoriales de los diferentes mecanorreceptores, para poder así determinar las posiciones y los movimientos de los segmentos corporales en el espacio (McCloskey, 1973). Estos mecanorreceptores, incrustados en ligamentos, articulaciones facetarias, discos intervertebrales y músculos (Cholewicki et al., 2005; Felson et al., 2009), hacen que las señales propioceptivas recogidas en los receptores sensoriales, entre los que se incluyen el tacto cutáneo, los receptores de presión, los mecanorreceptores articulares, los husos musculares y el órgano tendinoso de Golgi (Hwang et al., 2014; Lions et al., 2014), contribuyan al sentido de la posición y el movimiento en el espacio, así como permitan la conciencia de la posición y el movimiento articular, la velocidad y la detección de la fuerza necesaria para la posición y el movimiento (Duzgun et al., 2011; Lephart & Fu, 2000).

2.1.5. Propiocepción y edad

La propiocepción depende de múltiples factores para su desarrollo, entre los que destacamos el entorno o causas extrínsecas al sujeto y sus características intrínsecas como las físicas y las fisiológicas (figura 5).

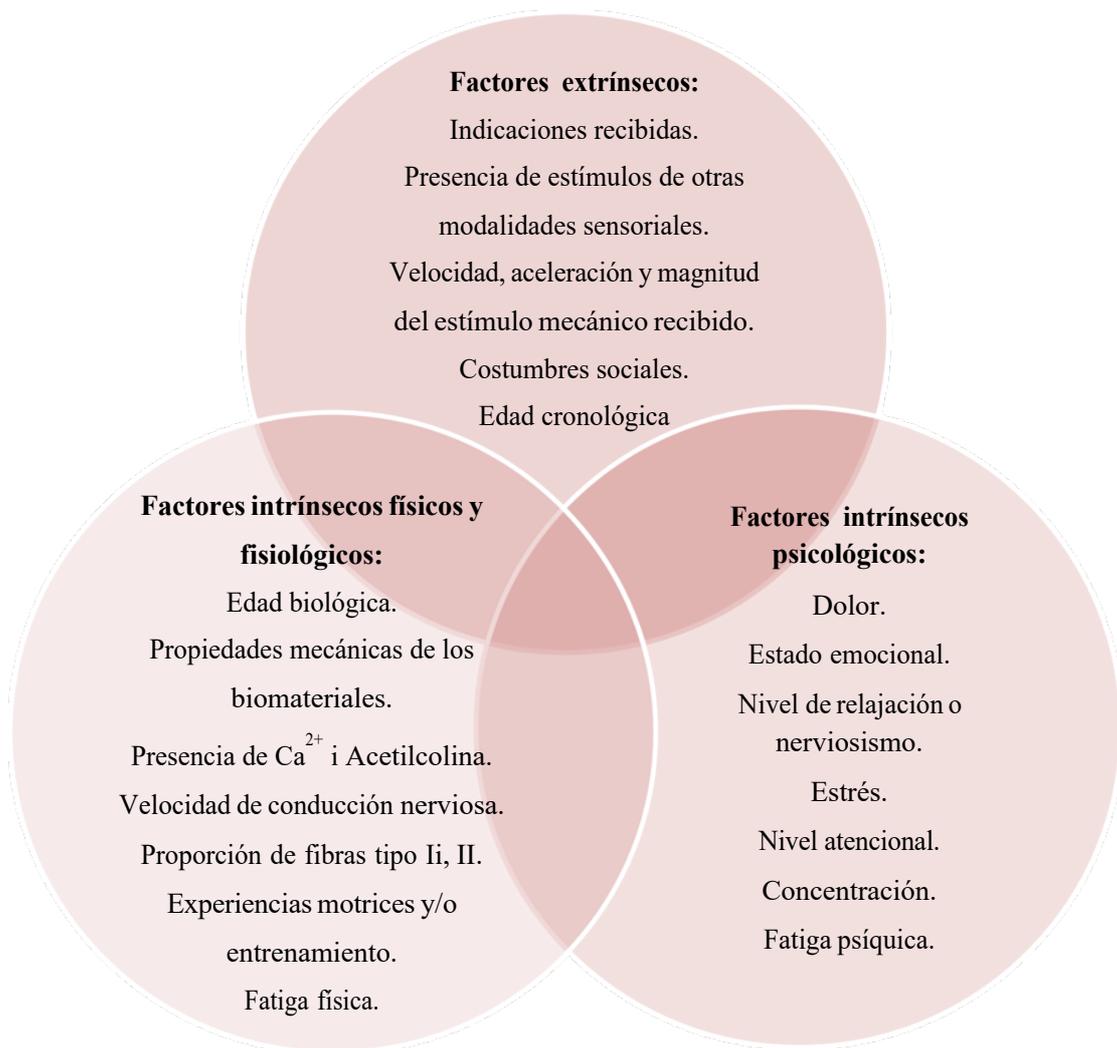


Figura 5. Factores condicionantes de la propiocepción. Tomada de Solana-Tramunt 2011 (75)

Marco Teórico

No hay un consenso sobre cómo afecta la edad en concreto a la propiocepción, pues lo que recoge la literatura es o bien su periodo de desarrollo o el de degeneración. Se conoce que la propiocepción se desarrolla a partir de los 6 años (Jerosch & Prymka, 1996), particularmente en los periodos previos a la pubertad, en el que el niño se encuentra en una fase particularmente sensible para influenciar sobre el desarrollo de todas sus habilidades motrices de forma general (Sánchez-Lastra et al., 2019). Sin embargo, la falta de maduración del SN somatosensorial en estas edades, sumado a la falta de maduración cognitiva, hace que la información propioceptiva llegue al área sensorial primaria de la corteza cerebral con una intensidad y frecuencia insuficiente, condicionando así la respuesta propioceptiva (Goble et al., 2005). Debido a ello, hay estudios que dicen que los niños de entre 8 y 10 años son los que peores resultados obtendrán en comparación con los adolescentes y adultos jóvenes (Goble et al., 2005; Olivier et al., 2010), ya que en edades tempranas, además de la falta de maduración del córtex sensorial y motor, influye de manera directa a la precisión propioceptiva la memoria motriz y la capacidad de mantener la atención sobre las diferentes tareas a realizar (Adamo et al., 2009). Adicionalmente, la maduración del sistema músculo-esquelético en este grupo de edad, es otro factor que implica que los receptores propioceptivos situados entre las fibras de los músculos y ligamentos en estado de crecimiento, no consigan recoger el estímulo de tracción necesario para desencadenar adecuadamente la información sobre la longitud exacta del ligamento y del músculo, y se produzca un deterioro de la estimulación de dichos receptores y sus

Marco Teórico

mecanismos, siendo la tarea propioceptiva menos eficiente (McGibbon, 2003; Prieto-Mondragón et al., 2019).

Si hablamos del deterioro propioceptivo surgido por el aumento de edad, podemos señalar que en la etapa del adulto mayor, comúnmente llamado envejecimiento, el sujeto experimenta un retroceso motriz y cognitivo asociado a cambios en el sistema neuromuscular (Hunter et al., 2016; Shaffer & Harrison, 2007), disminución del rendimiento motor, pérdida de fuerza, precisión y coordinación (Baudry et al., 2010; Tracy & Enoka, 2002). A su vez, se produce una degeneración de los tejidos musculares y ligamentosos, los cuales albergan los receptores propioceptivos, traducándose en una disminución de la propiocepción (Lephart & Fu, 2000). Cabe señalar que en ocasiones hay un “envejecimiento prematuro de los tejidos” y no está solo asociado a la edad, si no también por lesiones, pérdida de función temporal de alguna articulación inmóvil o patologías dolorosas recurrentes entre otras (Lephart & Fu, 2000). Este mismo proceso también provoca ralentización de los procesos nerviosos y pérdida de rapidez sensorial, lo que puede provocar futuras lesiones y caídas (Henry & Baudry, 2019; Purves et al., 2008). Por último, cabe destacar que en la edad adulta se experimenta un aumento del sedentarismo, siendo este un factor que disminuye la calidad de la información propioceptiva por una disminución de la actividad del aparato locomotor (Adamo et al., 2009).

2.1.6. Métodos de medida

Actualmente hay tres variables principales para evaluar la propiocepción: umbral para la detección de movimiento pasivo (TTDPM), reproducción de la posición de las articulaciones (JPR), también conocida como correspondencia de la posición de las articulaciones, y evaluación de la discriminación de la extensión del movimiento activo (AMEDA) (Han et al., 2016). Los métodos utilizados para su medición son: método de límites, método de ajuste y método de estímulos constantes (Han et al., 2016), que tienen como objetivo analizar el sentido del posicionamiento articular, el umbral de detección de movimiento pasivo y el sentido de la fuerza (Mora et al., 2018).

- Método de límites: puede realizarse de forma ascendente o descendente. En el ascendente, el investigador introduce un estímulo tan bajo que no puede ser percibido por el participante y va aumentándose de forma gradual hasta que el sujeto informa que puede recibirlo. Por el contrario, en el descendente, el procedimiento es a la inversa. Ambos métodos se usan de manera alternativa realizando un promedio de los umbrales obtenidos en ellos. La determinación del umbral para la percepción del movimiento se produce cuando el nivel del estímulo (ángulo de la articulación), se altera, bien aumentándolo o disminuyéndolo lentamente, utilizándose para ello el test TTDPM, que requiere que los participantes detecten el movimiento de la articulación a diferentes velocidades (Röijezon et al., 2015; Weerakkody et al., 2008).

Marco Teórico

- Método de ajustes o de error promedio: se requiere que el sujeto controle el nivel del estímulo. El investigador es quien controla y altera el nivel de un estímulo de prueba que va de menor a mayor hasta ajustarlo al nivel del estímulo de referencia (Goble, 2010). La diferencia que se genera entre el estímulo ajustable y el de referencia es la que se registra como el error del sujeto, calculando un promedio como la medida de sensibilidad. Este método utiliza el test de sentido de posición articular JPR, definido clínicamente como la habilidad del sujeto para reconocer una posición articular y más tarde reproducirla de forma activa o pasiva. Es un método que sirve para medir la precisión en la réplica de una posición articular de referencia previamente experimentada, ya sea de forma pasiva o activa, usando para ello un electrogoniómetro (D'Almeida et al., 2015; Mir et al., 2014) o un dinamómetro isocinético (Torres et al., 2016), para la medición del ángulo articular.
- Método de estímulos constantes: en este método, los niveles de intensidad no llevan un orden secuencial si no que se presentan al azar, haciendo que el participante no prediga el nivel del siguiente estímulo y reduciendo así los errores de expectativa y habituación. Para obtener un "umbral absoluto", el participante debe informar si es capaz de detectar el estímulo; mientras que para obtener "umbrales de diferencia", el participante realiza una comparación entre los estímulos constantes y los estímulos en cada uno de los diferentes niveles presentados. El sujeto compara dos movimientos, ambos con posición de inicio y fin claramente definida, para determinar qué estímulo es mayor, diferenciándose así con el método de estímulos

Marco Teórico

constantes (Ribeiro & Oliveira, 2011). Se considera que este método es el más fiable y mayormente utilizado en la literatura para evaluar la propiocepción de miembros superiores e inferiores. El test utilizado para el desarrollo de este método es el AMEDA, que prueba la capacidad de los participantes de utilizar información propioceptiva para diferenciar los diferentes ángulos de las articulaciones (cadera, tobillo, columna, rodilla) (Han et al., 2016).

Hoy en día existen otras técnicas de medida de la propiocepción con instrumental más actual y avanzado, como son las plataformas de fuerzas, los dinamómetros isocinéticos, la electromiografía, la posturografía o los goniómetros digitales, entre otros. Este último, incluido en las app móviles (figura 6), es el que más prestaciones recibe en el momento, pues es una manera sencilla, válida, fiable y poco aparatosa de medir el grado de movimiento o posición de una articulación (Melián-Ortiz et al., 2019; Mourcou et al., 2016).



Figura 6. App Goniometer Pro

A pesar de todos los métodos e instrumentos de medidas señalados, no hay unanimidad entre autores de cuál de ellos es el más preciso y fiable para medir las diferentes variables, teniendo controversias por las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, y es por esto que en la actualidad se continúan investigando y estudiando nuevos métodos prácticos y fiables para medir la propiocepción.

2.1.7. Programas de entrenamiento

Actualmente el entrenamiento propioceptivo tiene unos objetivos claros: la rehabilitación y readaptación deportiva (Suner-Keklik et al., 2017), la mejora del control postural tanto estático como dinámico y un óptimo control postural global y segmentario (McCaskey et al., 2015; Riva et al., 2016).

Para cumplir estos objetivos, los programas de entrenamiento actuales para la mejora propioceptiva de las articulaciones, prevención y mejoras de lesiones de tobillos y rodillas, problemas lumbares, dolores crónicos, o LCA (ligamento cruzado anterior), incluyen ejercicios de inestabilidad en superficies inestables, o ejercicios donde se comprometa el control postural del sujeto (Riva et al., 2016; Serrano, 2018). Hay otros métodos de trabajo como pueden ser las plataformas vibratorias, que generan oscilaciones y vibraciones a diferentes frecuencias comprometiendo el control postural en su eje medio lateral y antero posterior, con el fin de reducir el déficit propioceptivo y mejorar el dolor crónico a través del entrenamiento sensoriomotor (McCaskey et al., 2015; Paolucci et al., 2016).

Por otro lado, hay autores que definen el entrenamiento propioceptivo como una intervención que pretende mejorar la función propioceptiva, centrándose en el uso de entradas aferentes o táctiles en ausencia de informaciones como la visión, para así mejorar o restaurar la función somatosensorial (Aman et al., 2015). Para ello se lleva a cabo programas de entrenamientos con ejercicios que incluyan movimientos activos (como

Marco Teórico

situaciones en las que se manifiesta el equilibrio), pasivos (a través de aparatos electrónicos), ejercicios de movimientos activos pertenecientes a una técnica deportiva concreta bajo el control consciente del gesto, o estimulación somatosensorial (Aman et al., 2015; Solana-Tramunt, 2011).

Cabe destacar que a día de hoy sigue sin haber un consenso entre autores de qué métodos, ejercicios o duración deban tener los programas de entrenamiento destinados a la mejora propioceptiva, ya que no hay una definición clara de lo que es el entrenamiento propioceptivo y con qué finalidad usarlo, pues los estudios más recientes hablan de programas de entre 3 y 4 meses, con 2 o 3 sesiones semanales de alta frecuencia y densidad, para prevenir lesiones y reducir el riesgo de caídas en personas mayores (Riva et al., 2016; Serrano, 2018; Velastegui-Yunda, 2018). Sigue siendo necesaria la continua investigación al respecto, teniendo claro desde la base que es la propiocepción, cuáles son sus mecanismos, cómo trabajarla y cómo entrenarla de manera efectiva.

2.2. Control Postural

2.2.1. Conceptualización

Cabe señalar que actualmente sigue habiendo controversias a la hora de utilizar y definir el término control postural, pues utilizamos los mismos términos para referirnos a la postura o al equilibrio y aunque están relacionados todos entre sí, no son lo mismo.

La estabilidad postural es una de las cualidades básicas que influyen en el control motor y en la organización del movimiento de un sujeto, ya que permite que los segmentos

Marco Teórico

se estabilicen para dar una posición estable al cuerpo (Duclos et al., 2017). Por otro lado, la postura, es un concepto que describe la posición de las diferentes partes del cuerpo con respecto a sí mismas, al ambiente o al campo gravitatorio (Nogueras & María, 2004), y sus propiedades son la estabilidad y la orientación (Amblard et al., 1985). Es definida como la posición relativa del cuerpo y dependerá de factores como la edad o el sexo (Duclos et al., 2017).

El control postural se entiende como la capacidad que tienen los seres humanos de regular la posición del cuerpo en el espacio, con el objetivo de mantener el equilibrio tanto en situaciones estáticas como dinámicas, dando estabilidad y orientación al cuerpo (López & Fernández, 2004). El control postural tiene dos funciones principales que son las de dar soporte y equilibrio al cuerpo a partir de estrategias concretas. Estas dependerán del tipo de aferencia y de condiciones externas al sujeto (Alves et al., 2013; Shumway & Woollacott, 2001). Es por ello que es considerado como una de las habilidades motrices fundamentales de los seres humanos, ya que les permite interactuar con el entorno, desarrollar habilidades motrices y realizar movimientos coordinados (Katić et al., 2001; Laufer et al., 2008), además de desenvolverse de una manera eficiente en las diferentes actividades de su día a día (Westcott & Burtner, 2004).

El equilibrio es conocido como la capacidad de regular de forma precisa la intervención del propio cuerpo en la ejecución de la acción justa y necesaria según la idea motriz prefijada, definiéndose como la capacidad para mantener el centro de gravedad (CoG) dentro de la base de sustentación (BoS), bien sea de manera estática o dinámica

Marco Teórico

(Burton & Davis, 1992; Horak & Macpherson, 2010; Lephart & Fu, 2000; Vanmeerhaeghe et al., 2009). A nivel biomecánico, es la alineación de las distintas partes del cuerpo y la correcta orientación de los segmentos corporales en el espacio con la finalidad de imponerse a la gravedad (Doyle et al., 2007; Ragnarsdóttir, 1996). Para vencer esta fuerza, se necesita la activación de 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.), de forma que se produce un constante re-equilibrio postural, constatando así que el equilibrio es oscilante (Kandel et al., 2000; Winter et al., 2003).

Además de la fuerza gravitacional, existen otros tipos de fuerzas que actúan sobre el cuerpo, externas e internas. En las externas nos encontramos la gravitacional y la de reacción al suelo, que es la que se transmite a través de los pies cuando nos encontramos erguidos (Loram & Lakie, 2002). Las internas hacen referencia a las alteraciones fisiológicas como la respiración, o a las posibles perturbaciones que puedan producir los grupos musculares que se activan a la hora de mantener la postura (Loram & Lakie, 2002).

Se acepta que cuando la suma de las fuerzas o momentos de torsión que intervienen sobre el sujeto están contrarrestadas, es decir, son igual a cero (ecuaciones 1 y 2), podemos decir que el cuerpo está en equilibrio (Bell, 1998).

1. Ec.1 $\Sigma F = 0$

2. Ec.2 $\Sigma M = 0$

Marco Teórico

En resumen, podemos definir el equilibrio como la capacidad de mantener la postura en reposo y evitar o prevenir caídas, siempre y cuando el individuo mantenga su centro de gravedad (CoG) y el centro de presiones (CoP), dentro de la base de sustentación (BoS), sin sobrepasar los límites de estabilidad (Duclos et al., 2017; Horak & Macpherson, 2010).

2.2.2. Recepción de la información

El control postural se considera una habilidad motora compleja debido a la variedad de procesos sensoriomotores que deben interactuar para controlar el cuerpo en el espacio (Horak, 2006). Está influenciado por la integración coordinada de movimientos articulares y el control activo de la retroalimentación neural producida a través de los reflejos sinápticos y los circuitos espinal-raquídeos (Suzuki et al., 2016). Para que se produzcan los ajustes posturales, es necesario que se integren las informaciones provenientes de los principales sistemas sensoriales: el sistema propioceptivo, vestibular y visual, que regularán de manera eficiente las salidas eferentes a través del SNC (Günther et al., 2009). Es por ello que diversos autores definen este hecho como un modelo multisensorial, donde la información procedente de las entradas sensoriales, se integra según el umbral de activación de cada una de ellas (Lackner & DiZio, 2005; Lacour, 2013; Mallau et al., 2010; Mickle et al., 2011). Dicha información, proveniente del sistema propioceptivo, vestibular y visual, es integrada en los núcleos vestibulares, derivándose de manera inmediata al tronco y cerebelo (Breinbauer, 2016).

Es entonces el SNC, a través de las estructuras nerviosas espinales y subcorticales, quien controla los procesos centrales de integración y anticipación, ponderando la

información sensorial recibida, y proporcionando la respuesta más útil para permitir que el cuerpo se oriente en el espacio, se establezcan los segmentos corporales y se perciba la verticalidad, con el fin de mantener el equilibrio (Lacour, 2013; Lacour & Borel, 1993; Mallau et al., 2010).

2.2.3. Mecanismos y bases neurofisiológicas

El control postural depende de una organización basada en las entradas sensoriales, la organización segmentaria, la cinética, la orientación del cuerpo y las señales de percepción vertical (Massion, 1994). Para ello, el organismo procesa e integra de manera conjunta la información recibida por los principales sistemas sensoriales que son: el aparato vestibular, el oído interno, la información visual, de presión, táctil y propioceptiva (Gaerlan, 2010). Además, hay autores que resaltan la importancia del procesamiento central y de los diferentes procesos neuromusculares para producir los diferentes ajustes posturales y mantener el equilibrio (Burton & Davis, 1992; Shields et al., 2005; Tropp et al., 1984).

Dichos sistemas, proporcionan información sobre la posición de los segmentos corporales respecto a otras partes del cuerpo y el espacio y tienen la habilidad de generar fuerzas a través de contracciones musculares (Arenas, 2016; Deliagina et al., 2007). Para que esto ocurra, toda la información procedente de las aferencias periféricas (sistema somatosensorial, vestibular y sensorial), debe ser procesada por el SNC, que una vez integrado tanto los sistemas sensoriales como motores, emitirá una respuesta a través de

Marco Teórico

los efectores musculares regulando así el control postural (Breinbauer, 2016; Nogueras & María, 2004).

Para un correcto desarrollo del control postural, hay diferentes bases neurofisiológicas involucradas y son las siguientes:

Sistema Nervioso Central

De todas las estructuras que intervienen en la regulación del control postural a través del SNC, debemos destacar la función de 5 de ellas (figura 7): tronco cerebral o encefálico, ganglios basales, cerebelo, hemisferios cerebrales a nivel del área motora suplementaria y el lóbulo parietal derecho (Shepard, 2002).

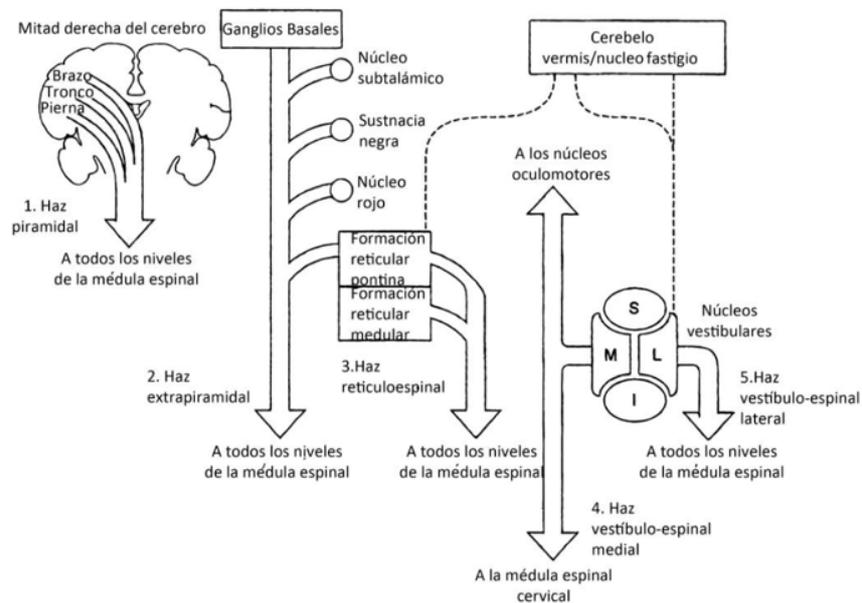


Figura 7. Las cinco vías relacionadas con el control de los movimientos coordinados del cuerpo y extremidades. Tomado de Shepard NT (71)

Marco Teórico

Primeramente 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), que están encargados de regular los ajustes posturales y a su vez actuar en el proceso de retroalimentación sobre las acciones ejecutadas (Arenas, 2016; Noguerras & María, 2004). En el tronco cerebral, se hayen los núcleos vestibulares formando conexiones con otras estructuras del SNC. La función principal de los ganglios de la base, es la del control subconsciente de los patrones complejos de actividad motora aprendidos y la participación en el control cognitivo de las secuencias de patrones motores, además de en la regulación de la intensidad y duración de los movimientos (Arenas, 2016).

Por otro lado, el cerebelo es el encargado de la regulación del movimiento a nivel de sinergias musculares, siendo la estructura que más aferencias recibe de los núcleos vestibulares (Arenas, 2016; Noguerras & María, 2004). De los hemisferios a nivel del área motora suplementaria y el lóbulo parietal derecho, podemos destacar su función de realizar una representación corporal y de la posterior respuesta motora (Arenas, 2016; Noguerras & María, 2004).

Por último, cabe destacar que hay autores como Arenas (2016), que resaltan la incorporación de una estructura más, y señalan a la médula espinal como la sexta estructura influyente del SNC, la cual pasa las órdenes nerviosas por las vías aferentes y eferentes y da soporte a las actividades reflejas y motoras simples o complejas del control postural.

Aferencias periféricas

Una vez explicado como funciona el SNC y cuáles son sus funciones principales, debemos conocer de dónde procede la información que es procesada por el SNC para garantizar un control postural óptimo. Para ello, es necesario que toda la información recibida tanto interna como externa, se integre y se procese por la corteza cerebral, por los ganglios de la base y por el cerebelo para que se pueda seleccionar la acción motriz más apropiada para cada momento o situación (Gandia-Delegido, 2020). Las aferencias que aportan dicha información son las periféricas propioceptivas o somatosensoriales, las vestibulares y las visuales (Breinbauer, 2016; Nogueras & María, 2004; Riemann & Lephart, 2002).

En primer lugar hablaremos de las aferencias periféricas propioceptivas o somatosensoriales, que están divididas en tres tipos diferentes. La primera de ellas son las aferencias musculares, encargadas de dar información sobre la activación y relajación de las fibras musculares y controladas por los husos musculares y el órgano de Golgi (Nogueras & María, 2004). Los husos musculares están formados por dos terminaciones: las primarias, que se conectan a las fibras aferentes tipo Ia y detectan los estiramientos rápidos y de baja amplitud; y las secundarias, que se conectan con las fibras aferentes tipo II y son más sensibles a la posición realizada, siendo capaces de detectar cualquier cambio de longitud muscular y la rapidez del mismo (Matthews, 2011). Por su parte, el órgano tendinoso de Golgi, se encuentra entre el tejido muscular y el tendón y está innervado por

Marco Teórico

axones sensoriales, que informan al SNC de las posibles fuerzas externas e internas que puedan hacer variar el control postural (Riemann & Lephart, 2002).

En segundo lugar, las aferencias articulares se controlan a través de unos receptores llamados corpúsculo de Ruffini y Pacini, que se encuentran localizados en la cápsula articular, activándose cuando se produce presión o tensión capsular (Nogueras & María, 2004). En último lugar nos encontramos con las aferencias cutáneas, que son aquellos mecanorreceptores que se encuentran en la planta de los pies y son sensibles a las vibraciones y presiones sobre una superficie, y además los nociceptores, los cuales son sensible al dolor (Lacour et al., 2003; Nogueras & María, 2004).

Por otro lado las aferencias vestibulares, son aquellas que se encuentran ubicadas en el órgano auditivo, que está compuesto por el oído externo, medio e interno (figura 8). Siendo más específicos, podríamos decir que el sistema vestibular se encuentra en el oído interno (figura 9) y detecta los cambios en el movimiento de la cabeza y/o del resto del cuerpo (Lephart & Fu, 2000). Está formado por dos tipos de receptores, los otolitos (sáculo y utrículo), que son sensibles a las aceleraciones lineales de la cabeza y a las posiciones de esta (Breinbauer, 2016; Nogueras & María, 2004); y los canales semicirculares, que son más sensibles a la rotación y aceleraciones angulares de la cabeza (Breinbauer, 2016). Cuando la información de ambos receptores es transmitida a los núcleos vestibulares, aparecen o bien reflejos vestibulocervicales (RVC), que hacen que se regule el tono muscular y los movimientos de la cabeza y extremidades (Breinbauer, 2016); o vestibulooculares (RVO), que hacen que se establezca el entorno visual (Breinbauer, 2016).

Marco Teórico

Cuando toda esta información es transmitida a los núcleos vestibulares del tronco encefálico y el cerebelo, aparecen los reflejos mencionados anteriormente con el fin de mantener el control postural ante movimientos inesperados, ajustando la posición del cuello y los ojos a través de mantener la mirada fija sobre un punto (Breinbauer, 2016), proporcionando información sobre el movimiento lineal y circular de la cabeza o de todo el cuerpo, así como informando de la posición del cuerpo en el espacio (Purves et al., 2008).

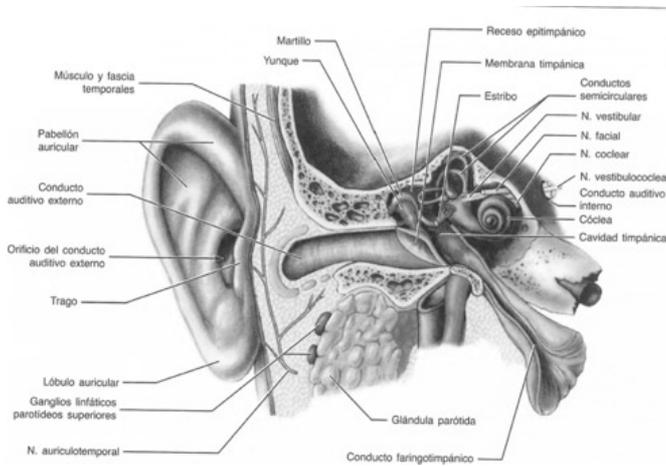


Figura 8. Las porciones del oído. Tomado de Moore y Dalley (2009).

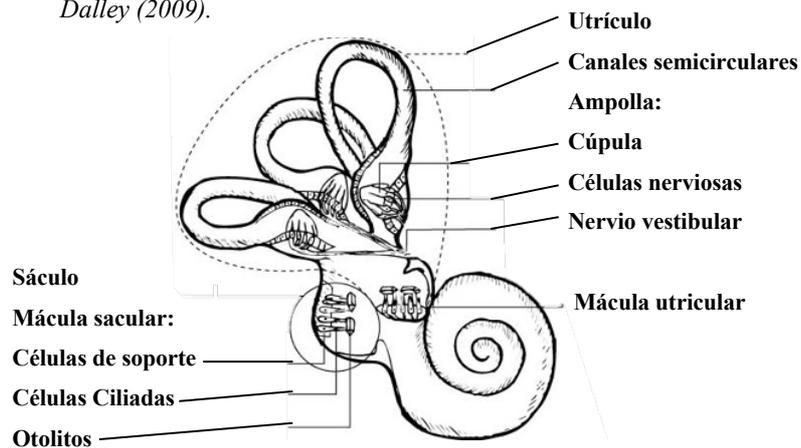


Figura 9. Oído interno y aparato vestibular. Adaptado de Solana-Tramunt (2011) (35).

Marco Teórico

Por último nos encontramos con la aferencia visual, siendo la vista una ayuda esencial para el control postural tras un primer reajuste realizado por las aferencias propioceptivas y vestibulares. Hay dos aferencias visuales primordiales que intervienen durante el control postural y son la visión central, procedente de la fovea y caracterizada por dar mucha precisión; y la visión periférica, procedente del resto de la retina y con menos precisión que la central (Duclos et al., 2017).

Una vez que el SNC ha recibido la información de las 3 aferencias diferentes con las que nos encontramos (propioceptiva o somatosensorial, vestibular y visual), procesa dicha información y elabora una respuesta adecuada poniendo en marcha a los efectores musculares (Arenas, 2016).

Efectores musculares

Hacen referencia a la intervención del sistema músculo-esquelético en el control postural. Dicho sistema actúa mediante la activación de la musculatura axial y periférica, que hace que se mantenga el control postural y el equilibrio a través de oponerse a la fuerza de la gravedad (Arenas, 2016; Nogueras & María, 2004). Su actuación puede ser tanto de forma activa, cuando se produce un reclutamiento automático (tono postural), o pasiva cuando participa el componente viscoelástico (tono muscular) (Nogueras & María, 2004). Para mantener un correcto control postural se necesita de la actuación de diversa musculatura del cuerpo, destacando la cervical y dorsal, compuesta por la musculatura extensora del raquis (actividad antigravitatoria) y la lumbar y la de cadera, interviniendo psoas ilíaco, glúteos e isquiotibiales. Son los elementos capsuloligamentosos de las

Marco Teórico

extremidades inferiores los que permiten una posición equilibrada con ayuda del cuádriceps, que se activa bloqueando la rodilla cuando esta pierde su extensión. Por último y no menos importante, el tríceps sural es el encargado de mantener el control postural en la región del tobillo (Nogueras & María, 2004). Es aquí donde destacamos la importancia de las diferentes articulaciones y musculatura para un correcto funcionamiento del control postural, pues es gracias a los dedos de los pies, tobillos, cadera y rodillas, que nuestro cuerpo es capaz de mantenerse estable. De hecho los ligamentos de la rodilla proporcionan un grado de estabilización que es fundamental tanto para los movimientos hacia adelante, como hacia atrás y para la rotación externa e interna (Neumann, 2013).

Además de lo mencionado con anterioridad, se distinguen tres tipos de mecanismos motores del control postural tanto estáticos como dinámicos, y son el reflejo miotático, la respuesta muscular automática y el movimiento voluntario (Arenas, 2016; Shepard, 2002).

El primero de ellos es el que participa en la regulación de la estabilidad de las diferentes articulaciones que proporcionan estabilidad al cuerpo, y se produce cuando el músculo sufre un estiramiento exógeno, activando los husos musculares e inhibiendo la contracción de los músculos antagonistas y contrayendo los agonistas (Arenas, 2016). Por su parte, la respuesta muscular automática o de estiramiento funcional, pretende recuperar el equilibrio después de que el CoG corporal se haya desestabilizado por una perturbación externa. Las respuestas surgidas son estereotipadas pero con una gran capacidad de adaptación, siendo normalmente movimientos coordinados de segmentos corporales como la cabeza y el tobillo (Horak et al., 1990). Para que dicha respuesta surja, deben tenerse en

Marco Teórico

cuenta las aferencias propioceptivas, pues en función de la intensidad del estímulo propioceptivo, la información visual, vestibular y las experiencias previas de cada individuo, la respuesta será de una manera u otra (Horak et al., 1990; Tokur et al., 2020). En ocasiones las respuestas también están condicionadas por las características de la superficie de sustentación (Jacobson et al., 2020). Además, debemos añadir que, el sistema del control postural tiene la capacidad de adaptarse, modificando a través del cuerpo la respuesta muscular automática emitida por las aferencias musculares (Arenas, 2016; Shepard, 2002).

Como último mecanismo a desarrollar nos encontramos con el movimiento voluntario o movimiento intencional aprendido con anterioridad, que está regulado por las áreas corticales sensoriales motoras (Arenas, 2016). Se piensa que tanto en la adquisición, como en la ejecución de dichos movimientos, intervienen reflejos específicos como el vestibuloespinal (RVE) y el de corrección relacionado con el sistema vestibular (Horak et al., 1990; Taguchi & Igarashi, 1994). A su vez, hay autores que consideran la información somatosensorial la más importante para un correcto mantenimiento del control postural, aunque cabe destacar que cuando las tareas se complican, tienen mayor protagonismo el sistema vestibular y visual, siendo este último el único que se puede suprimir cuando el sujeto no sufre alteraciones del equilibrio (Berthoz et al., 1979; Peterka, 2002).

2.2.4. Ajustes posturales

Son muchas las situaciones que pueden provocar una pérdida de equilibrio, y por consiguiente que el CoG no se mantenga dentro de la BoS. Para que esto no ocurra, es

Marco Teórico

necesario que se produzca una activación por parte de los diferentes grupos musculares y que estos tengan una actuación conjunta que permita garantizar el control postural del cuerpo. Para ello, se necesita una correcta regulación neuronal y la integración de la información sensorial, produciéndose para ello una serie de estrategias y ajustes posturales, utilizados por el SNC, para compensar el efecto perturbador que provoca el movimiento del cuerpo y reducir al máximo el desplazamiento del CoG (Kandel et al., 2000; Winter et al., 2003).

Los ajustes posturales pueden ser de dos tipos, anticipatorios y compensatorios, y tienen unas funciones específicas entre las que destacamos la de dar estabilidad al cuerpo y la cabeza frente a las fuerzas externas, conseguir que el CoG y el CoP se mantengan dentro de la BoS, y proporcionar una buena estabilidad mientras se genera movimiento a través de la interacción entre los movimientos dinámicos y estabilizadores (Alexander & Kinney LaPier, 1998).

Si hablamos de los ajustes posturales anticipatorios, podemos señalar que son aquellos que se producen cuando hay factores que desestabilizan al cuerpo y tratan de predecir o anticiparse a ellos. Los ajustes producidos voluntariamente previos a las oscilaciones, dependen en gran medida de las experiencias previas del sujeto, haciendo que se anticipe al desequilibrio y que el control postural no sea deficiente (Granit & Burke, 1973; Kandel et al., 2000). Por otro lado, los ajustes posturales compensatorios, obtienen una información útil para que el sistema neuromuscular realice los ajustes necesarios para

Marco Teórico

contrarrestar el efecto de las fuerzas externas desestabilizadoras a través de los sistemas visuales, vestibulares y propioceptivos (Kandel et al., 2000).

Las reacciones ante la pérdida del control postural son automáticas y se adquieren durante el desarrollo psicomotor, siendo la edad adulta la etapa de máxima integración (Arenas, 2016). Hay diferentes tipos de reacciones, entre las que encontramos las reacciones del equilibrio, las cuales se asocian a los cambios de tono, sucediendo estos de manera continua al querer reequilibrarse ante desplazamientos de peso pequeño, como son los cambios en el ritmo cardíaco, la respiración o la circulación, ninguno de ellos voluntarios (Arenas, 2016). También nos encontramos con las reacciones de enderezamiento, producidas cuando hay un desequilibrio pero el CoG sigue dentro de los límites de estabilidad, siendo realizadas de forma voluntaria (Arenas, 2016). Por último, existen las reacciones de apoyo, que se producen cuando se quiere proporcionar una nueva base de sustentación debido al desplazamiento del CoG sobre los límites de estabilidad. Estas reacciones suceden tanto por parte de los miembros superiores como los inferiores con el fin de prevenir las caídas (Arenas, 2016).

Es muy importante señalar el papel que tiene el aprendizaje motor en estos ajustes, pues harán que el ser humano mejore poco a poco la capacidad de mantener el equilibrio y pueda adquirir diferentes patrones, modelos y mecanismos que les permitan reajustar la postura y brindar de estabilidad al cuerpo (Christine-Assaiante et al., 2005).

2.2.5. Control postural y edad

Son muchos los factores que van a influir en las respuestas del control postural, pues cualquier situación que altere las funciones de los diferentes mecanismos, ajustes y estrategias que intervienen en el control postural, va a repercutir en la respuesta producida. Los factores más significativos nombrados por los autores son la información sensorial, la coordinación, la gama de movimientos de la articulación, la fuerza muscular, la amplitud de la BoS, la ubicación del CoG, la estabilidad, la complejidad de la tarea, la posición y el movimiento de la cabeza y los pies, la cantidad de información que reciba el organismo, el sexo y la edad (Arenas, 2016; Mickle et al., 2011; Palmieri et al., 2002).

Tal y como mencionamos en el apartado de la propiocepción, el factor que más nos ha interesado a nosotros para la realización de nuestro estudio ha sido la edad, y por consiguiente el desarrollo del control postural a lo largo de la vida.

Debemos conocer que el control postural evoluciona a lo largo de los años y aumenta con la edad, siendo un proceso evolutivo que dependerá, entre otros factores, de la fase de crecimiento en la que se encuentre el individuo y de las experiencias previas y aprendizaje (Palluel et al., 2010).

Hasta donde sabemos, no hay un consenso sobre la edad a la que se produce una maduración de los sistemas sensoriales y por consiguiente la organización del control postural. Los autores oscilan entre edades comprendidas de entre 6 y 12 años (Nolan et al., 2005; Wu et al., 2009), siendo los adolescentes hasta los 10 años los que menos eficaces son a la hora de realizar un control del equilibrio tanto estático como dinámico (Rival et

Marco Teórico

al., 2005). Esto puede deberse al desarrollo del SNC y la adquisición de patrones y estrategias posturales, que se harán más eficientes pasados esta edad (Olivier et al., 2010). La maduración de los sistemas propioceptivos, vestibulares y visuales también dependerá de la edad, y va a presentar cambios hasta la edad de 16 años (Cumberworth et al., 2007), etapa en la cual tanto el desarrollo del cuerpo, como los cambios en los patrones neuronales, afectaran tanto al desarrollo como al comportamiento del control motor, siendo aún escasa la información sobre el efecto de dicha edad sobre la estabilidad postural (Saxena et al., 2017).

Otro de los aspectos a tener en cuenta es la estrategia elegida por los sujetos para mantener un correcto control postural, pues dependerá de los diferentes sistemas utilizados en función de la edad (Christine-Assaiante & Amblard, 1995). La propiocepción es la que mayor información proporciona en la edad adulta (Ferber-Viart et al., 2007), sin embargo, la visión será el que predomine en la edad infantil (Olivier et al., 2013).

A pesar de no haber mucha información sobre como se manifiesta el control postural en la edad intermedia de la vida, sí se conoce que en la etapa adulto mayor (a partir de los 65 años), se experimenta una fase regresiva de la función del SN que tendrá una repercusión en el control postural, pues se va perdiendo movilidad y consciencia de la posición articular, traduciéndose en una menor capacidad para mantenerse erguidos (Goldstone et al., 2018; Priest et al., 2008).

2.2.6. Métodos de medida

El análisis del control postural ofrece información valiosa sobre el mismo, y sobre cómo abordarlo en diferentes situaciones, y es por ello por lo que existen diferentes principios para su análisis.

Por un lado, se encuentran los análisis cualitativos, que tratan de describir cómo se organiza el control postural en relación con los aspectos mecánicos y cuantitativos, medido a través de las señales del Centro de Presiones (CoP): área de la elipse, indicador del rendimiento de la tarea de control postural y la velocidad media en dirección antero-posterior (VM_{AP}) y medio-lateral (VM_{ML}). Por otro lado, está el análisis del rendimiento postural, que hace referencia a la capacidad de mantener el equilibrio corporal en condiciones desafiantes. Y por último las estrategias posturales utilizadas, que describen la manera que tiene el sujeto de organizar sus segmentos en el espacio. Todas ellas nos proporcionan información sobre la actividad neuromuscular utilizada para mantener el equilibrio (Paillard & Noé, 2015).

Para llevar a cabo este análisis, se han utilizado a lo largo de los años diferentes herramientas de medidas. La mayoría de ellas a través de instrumental tecnológico con pruebas prácticas o experimentales con diferentes posturas sobre plataformas móviles, pero no siempre es suficiente, teniendo que implementar pruebas más simples y básicas con el fin de identificar disfunciones posturales o riesgo de caídas, sobre todo en personas mayores. Dichas pruebas son: la escala de equilibrio de Berg (Berg et al., 1992), la prueba Timed Up-and-Go (Podsiadlo & Richardson, 1991), la prueba de Tinetti (Tinetti et al.,

Marco Teórico

1994), la batería de rendimiento físico corto (Guralnik et al., 1994), la prueba de sistemas de evaluación de mini equilibrio (Franchignoni et al., 2010), Escala de equilibrio unificada (La Porta et al., 2011), Clasificación de deambulación funcional (Holden et al., 1984), Test de Romberg (Karmali et al., 2017) y Escala de evaluación postural para pacientes con accidente cerebrovascular (Benaim et al., 1999). Cabe destacar que las pruebas mencionadas son de interés para sujetos cuyas habilidades posturales son muy débiles, pero no permiten realizar análisis cualitativos de control postural especialmente para sujetos jóvenes y sanos, siendo necesario los instrumentos tecnológicos para realizar el análisis cinético, cinemático y electrofisiológico (Paillard & Noé, 2015).

El instrumento por excelencia más utilizado para las mediciones cinéticas son las plataforma de fuerzas (figura 10), siendo el CoP el parámetro más medido para calcular las diferentes variables de medida que evalúan la función postural (Duarte & Freitas, 2010). El test de Romberg es uno de los más utilizados sobre las plataformas de fuerza (García, 2017; Karmali et al., 2017). Además, hay dispositivos

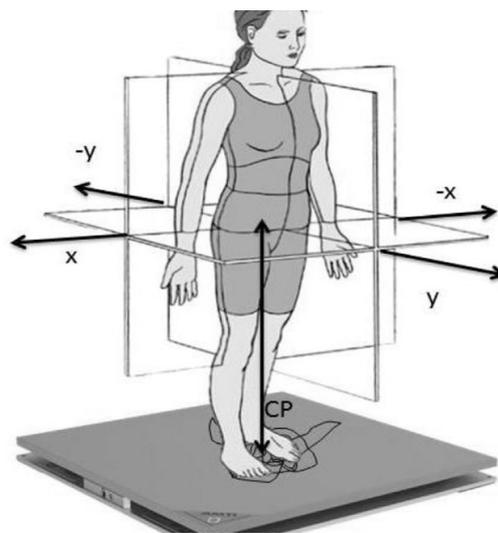


Figura 10. Plataforma de fuerzas

no motorizados como las tablas de madera o plásticos oscilantes que crean inestabilidad en todas las direcciones y planos (Cimadoro et al., 2013). Por su parte, hay autores que por la necesidad de obtener mayor especificidad ante condiciones posturales más complejas, han

Marco Teórico

utilizado otro tipo de aparatos, como transductores de fuerza (Noé & Quaine, 2006), ergómetros con sensores de carga 3D (Gélat et al., 1994), dispositivos con sensores de presión, como plantillas o placas de presión entre otros (Bergstra et al., 2015; Rice et al., 2013).

En cuanto a las medidas cinemáticas, las grabaciones de video básicas pueden proporcionar información útil sobre las estrategias posturales segmentarias a través de software específicos (Goffredo et al., 2006), pero es a través de los sistemas de captura de movimiento 3D, donde mayor información se va a generar para registrar los pequeños movimientos que caracterizan la postura erguida (Günther et al., 2009). Actualmente, a parte de análisis de movimiento en 3D, se ha sugerido el uso de acelerometría en 3D incorporada en el propio cuerpo para obtener una estimación de los movimientos realizados y comprobar déficits de equilibrio sobre todo en entornos clínicos (Mancini et al., 2012).

Otra alternativa son los electrogoniómetros, que miden los desplazamientos angulares y son utilizados para analizar los cambios posturales en situaciones dinámicas (Oullier et al., 2002), o los sensores de desplazamiento láser, más orientados a analizar los movimientos de un punto de referencia corporal específico (vertebras) (Aramaki et al., 2001).

Como último método de medida nos encontramos con la electromiografía, ampliamente utilizada en la evaluación de la función postural, en el análisis de las estrategias segmentarias posturales y en la coordinación entre articulaciones (Merletti & Parker, 2004).

Marco Teórico

A pesar de encontrarnos multitud de métodos de medida, actualmente la elección de los instrumentos no siempre es en base a unos criterios claros si no que, a menudo, se eligen de manera arbitraria o en base a materiales clásicamente utilizados por otros autores sin tener en cuenta la población considerada, el objetivo de la tarea postural y las condiciones ambientales (Paillard & Noé, 2015).

2.2.6. Programas de entrenamientos

Los programas de entrenamiento actuales que incluyen ejercicios para mejorar el control postural, tienen como objetivos mejorar el rendimiento y prevenir lesiones en deportistas (Hrysomallis, 2011), prevenir caídas en personas mayores (Sherrington et al., 2008) y rehabilitar la función neuromuscular después de las lesiones (Zech et al., 2009). Según factores tales como los objetivos del entrenamiento, la población con la que trabajes o el contexto de trabajo, dependerá el tipo de entrenamiento, los ejercicios o la duración que se emplee en el programa de entrenamiento con el fin de mejorar el control postural de un sujeto (Kümmel et al., 2016). Hasta donde sabemos, los programas de entrenamiento incluyen ejercicios multifacéticos que consisten en ejercicios de fortalecimiento de la musculatura inferior (cuádriceps, gemelos), agilidad a través de ejercicios como marcha y andar por diferentes superficies, pliométricos a través de saltos y de equilibrio estático o dinámico sobre diferentes plataformas y posturas (DiStefano et al., 2009).

En cuanto a la duración, no hay una evidencia que concrete el número exacto de sesiones o el tiempo exacto de duración, pues se ha comprobado que el periodo de la intervención no es un factor determinante (DiStefano et al., 2009). Aun así, se llega a la

Marco Teórico

conclusión a través de las revisiones bibliográficas sobre la temática analizada, que el periodo de entrenamiento para producir mejoras en el control postural tanto estático como dinámico, es mínimo 10 minutos de ejercicios destinados a dicha mejora, durante 4 semanas, con una continuidad de 3 días por semana (DiStefano et al., 2009; Kümmel et al., 2016; Lesinski et al., 2015).

En una población de estudio sana y físicamente activa, el entrenamiento de equilibrio puede mejorar no sólo desempeños en las tareas o ejercicios entrenados, sino también en los no entrenados y por ende, una mejora del control postural de manera genérica. Es por ello que sigue siendo necesaria la investigación al respecto y que tanto los entrenadores como los terapeutas, identifiquen las tareas que necesitan mejora y preparen programas específicos para este tipo de población (Kümmel et al., 2016).

2.3. Tarea Dual

2.3.1. Conceptualización

Durante la mayoría de las tareas de la vida cotidiana, el control motor y cognitivo se desarrollan simultáneamente, de forma que desde la infancia, el ser humano se adapta y crea recursos para integrar dichas tareas, ya sean simples o complejas (McIsaac et al., 2015; Shumway-Cook & Woollacott, 2007).

Por tarea entendemos el trabajo realizado por el SNC para recepcionar la información proveniente de las actividades que realizan los sujetos en su día a día, procesar dicha información y elaborar una respuesta adecuada (da Silva et al., 2020). Se conoce como tarea simple, aquella en la que se prioriza una única tarea a realizar por el sujeto, ya

Marco Teórico

bien sea motora o cognitiva y por tarea doble, al desempeño simultáneo de dos tareas que se pueden realizar de forma independiente, pueden ser medidas por separado y tienen objetivos distintos (McIsaac et al., 2015). A esta capacidad de coordinar tareas simultáneas se la denomina paradigma de la doble tarea o “*dual task*” y es intrínseca en la mayoría de las acciones que el SN realiza durante la vida cotidiana (Fujiyama et al., 2012). La metodología de este paradigma se basa en la utilización de las dobles tareas, en las cuales el sujeto realiza una tarea que se evalúa en función de su demanda atencional, la cual será la tarea principal, que en nuestro caso hablaríamos del control motor, habiendo al mismo tiempo la realización de otra tarea diferente, que se denominará secundaria y corresponderá a la tarea cognitiva (Lee et al., 2013; McCulloch, 2007)

La mayoría de situaciones a las que nos enfrentamos diariamente que conllevan la realización de dos tareas de manera simultáneas, normalmente implican el desarrollo de un buen control motor, relacionado con el control postural y la marcha, a la vez que hablamos, pensamos o escuchamos música, implicando con ello el desarrollo de una tarea cognitiva. A pesar de ello, existen diferentes tipos de dobles tareas que dependerán de su naturaleza, motriz o cognitiva, diferenciándose la *motriz-motriz*, en la que ambas tareas son motrices e implican la elaboración de una respuesta en forma de contracción muscular (Solana-Tramunt, 2011); la *cognitiva-cognitiva*, en la que ambas tareas son cognitivas y responden a las destrezas y procesos del cerebro que nos permiten recibir, procesar y elaborar información para la realización de una tarea (Reed, 2012); y la *motriz-cognitiva*, que, como su propio nombre indica, combina ambas tareas. Esta última será la que se lleve a cabo en

Marco Teórico

nuestros estudios, además de ser la más estudiada y utilizada en el ámbito deportivo y en el día a día, por ello, son muchos los autores que se interesan por cómo las personas son capaces de adaptarse de forma simultánea a la realización de dos tareas y cómo influye el rendimiento de la tarea dual en diferentes aspectos de la vida (Lee et al., 2013).

2.3.2. Tareas cognitivas

La habilidad o tarea cognitiva, como ya hemos nombrado con anterioridad, se define como las destrezas y procesos del cerebro que nos permiten recibir, procesar y elaborar información para la realización de una tarea (Reed, 2012), que incluyen la atención, comprensión, elaboración y memorización de dicha información (Barca-Enriquez et al., 2015). La información cognitiva es captada a partir de los estímulos que nos proporcionan los sentidos y es enviada por el tálamo, para ser procesada y regulada por el cerebelo, en el cual las operaciones corticales son las encargadas de transformar, reducir, elaborar, almacenar, recuperar y utilizar las entradas sensoriales recibidas (Neisser, 2014).

Para llevar a cabo dichas tareas, se deben dar un gran número de procesos cognitivos, entendidos como las estructuras o mecanismos mentales que un sujeto activa cuando observa, lee o escucha entre otros (Hayes, 1995). Para categorizar dichos procesos, no todos los autores se ponen de acuerdo, pues sigue habiendo controversias entre ellos. Hay algunos que consideran a la percepción, la atención, el pensamiento, la memoria y el lenguaje como procesos cognitivos (Fuenmayor & Villasmil, 2008); sin embargo, otros consideran que hay procesos cognitivos básicos y tienen una raíz biológica, como son la percepción, la atención y la memoria y que con el tiempo es el sujeto quien los controla (de

Marco Teórico

Avalos & Velasquez, 2000). Además, autores como Gardner (1998), consideran que estos procesos básicos se asientan sobre un pilar fundamental como es la percepción, y que en base a ella se desarrollan el resto. Por último, autores más actuales, entienden que los procesos cognitivos engloban funciones tales como el aprendizaje, el razonamiento, la atención, la memoria, la resolución de problemas, la toma de decisiones y el procesamiento del lenguaje (Rj & Sternberg, 2016). Sea como sea, se considera importante es conocer que en los procesos cognitivos hay una activación de una serie de mecanismos cerebrales, que reciben información sobre la que se presta mayor o menor atención en unos momentos u otros. Tras ello, dicha información es representada mediante el pensamiento y relacionada con la información guardada en la memoria, para ser interpretada y crear una respuesta (Fuenmayor & Villasmil, 2008). El desarrollo de las funciones cognitivas irá madurando a medida que el ser humano crezca (Diamond, 2002).

La manera que tiene el cerebro de controlar los procesos cognitivos, es a través de los lóbulos frontales y sus regiones prefrontales, que se encargan de controlar y poner en marcha diversas funciones cognitivas (figura 11) (Tirapu-Ustárrroz et al., 2008). Dichas funciones no trabajan de forma aislada, sino que cada una de ellas es controlada por un sistema especializado regulado por diferentes estructuras (Tirapu-Ustárrroz et al., 2008): la memoria, la atención, la percepción visual, la orientación, el lenguaje, el razonamiento, el control motor, el esquema corporal y la función ejecutiva (Portellano, 2005).

Marco Teórico



Figura 11. Localización de las funciones cognitivas en las áreas del cerebro. Tomado de Portellano (2005).

2.3.4. Modelos teóricos

El estudio de la tarea dual tiene dos aplicaciones distintas, una es investigar las demandas de atención de una tarea motora y otra es examinar los efectos de las tareas cognitivas o motoras concurrentes sobre el desempeño motor (Huang & Mercer, 2001). En el inicio de las investigaciones, se creía que el cerebro tenía una capacidad limitada para procesar información y por ello el rendimiento a la hora de realizar tareas simultáneas no se veía afectado negativamente, siempre y cuando entrase dentro de la capacidad que tuviese el cerebro. Sin embargo, cuando los recursos excedieran dicha capacidad cerebral, sí se produciría una interferencia (Pellecchia, 2003). Los investigadores que corroboraban

Marco Teórico

dicha evidencia, sugerían que la manera de asignar los recursos disponibles en condiciones de dobles tareas, se llevaba a cabo a través de un proceso de atención selectiva, siendo los sujetos los que priorizaban una tarea sobre otra (Blanchard et al., 2005).

Poco después, alrededor de los años 80, surgieron nuevas teorías que hablaban de la selección de tareas, afirmando que al realizar tareas simultáneas que pueden interferir entre ellas, bien sea por la utilización del mismo mecanismo para resolver las tareas, o por la utilización de dicho mecanismo al mismo tiempo para ambas tareas, se produce un retraso en la realización de ambas tareas, o incluso se llega a posponer una tarea sobre otra perjudicando así su ejecución (Huang & Mercer, 2001; Neumann, 2016).

Para ello, se han definido en la literatura actual tres modelos que explican la interferencia que se produce cuando se realizan de manera simultánea una tarea postural y cognitiva (Lacour et al., 2008), y son los siguientes:

Modelo de competencia entre dominios

El primer modelo, afirma que los recursos atencionales son limitados y que por ello, la tarea motriz compite con la cognitiva por los recursos atencionales. Debido a ello, los indicios señalan que la tarea motriz empeoraría en condiciones de doble tarea con respecto a realizarlo de forma aislada, pues todos los recursos se tienen que dividir entre ambas tareas, motriz y cognitiva.

Modelo de interacción no lineal en forma de U-invertida

El segundo modelo, considera que la dificultad de la tarea será determinante en el rendimiento desempeñado, es decir, que si la dificultad de la tarea es baja el rendimiento

Marco Teórico

puede ser bajo por falta de motivación en una acción sencilla. Pero si por el contrario es muy complicada, el rendimiento puede ser bajo por no disponer de los recursos necesarios para llevarla a cabo. Por último, si la dificultad es moderada y los retos son alcanzables, se consigue un nivel de activación óptimo para realizar la tarea y alcanzar un mayor rendimiento. En líneas generales lo que este modelo nos viene a detallar es que, siempre bajo el prisma personal, es decir los recursos personales que tenga cada persona, la tarea motriz va a mejorar o empeorar según el reto bajo o alto que le suponga la tarea cognitiva.

Modelo de priorización de tareas

El tercer modelo explica que, a la hora de realizar tareas simultáneas, es el sujeto quien focaliza sus esfuerzos en una más que en la otra, dejando de lado la tarea secundaria. Debido a ello, la tarea que él mismo considera más importante, consigue mantenerse con un rendimiento óptimo, mientras que la secundaria o menos importante empeora su rendimiento. Cabe señalar que este modelo está estrechamente relacionado con los comportamientos compensatorios o estrategias que utilizan los sujetos, como es la priorización de una tarea, sobre todo relacionado con la edad, pues por ejemplo, en el caso de los adultos mayores, van a priorizar siempre mantener un correcto control postural que un mayor rendimiento cognitivo en situaciones de tareas dobles.

A pesar de la exposición de dichos modelos, no hay actualmente un consenso que explique los resultados de la literatura científica sobre las tareas duales, aunque bien es cierto que todo lo expuesto puede proporcionar información de utilidad para conocer qué

factores influyen en el desempeño de las tareas duales y así aplicarlo en un contexto práctico.

2.3.5. Tarea cognitiva y edad

Actualmente sigue siendo de gran interés saber cómo afecta la edad y qué peso tiene esta en los recursos atencionales que se requieren a la hora de realizar tareas duales, de control motor y cognitivo, pues como se ha citado con anterioridad, autores como Woollacott & Shumway-Cook (2002), señalan la importancia que tiene tanto la edad como las capacidades motrices de los sujetos en el control postural y cognitivo.

Tal y como hemos venido nombrando en los demás apartados, los estudios que hay hasta el día de hoy se centran en estudiar a niños (8-16) (Schaefer et al., 2008; Schmid et al., 2007; Viel et al., 2009) y adultos mayores (65-85) (Shumway-Cook et al., 1997; Teasdale & Simoneau, 2001), pero no hay muchas investigaciones que traten de explicar cómo se comportan los jóvenes adultos o adultos, siendo esto un hándicap a la hora de evaluarlo o llevar a la práctica tareas duales. Además de ello, los estudios que tratan de dar respuesta a la manera de responder ante dobles tareas de control postural y cognitivas son recientes (Ghai et al., 2017; Olivier et al., 2010), por lo que aún la información al respecto es muy escasa.

Durante la niñez y adolescencia, se va produciendo una maduración cerebral más completa y se va siendo más eficiente a la hora de realizar tareas cognitivas (Viel et al., 2009). En cuanto a las funciones cognitivas más importantes para el control cognitivo, se conoce que tanto la atención como la memoria experimentan una mejora en dichos grupos

Marco Teórico

de edad (Bjorklund, 1995; Rypma et al., 2006), pero también se conoce que es durante las etapas de adultos jóvenes (26 años), en la que se llega a una maduración y adaptación completa ante dichas funciones y se utilizan un mayor número de recursos y estrategias para afrontar las tareas cognitivas (Gómez-Pérez et al., 2003). Una vez pasada esta etapa y llegados a una determinada edad (65 años), es donde comienza la etapa regresiva de las funciones cognitivas, que hace que el adulto mayor tenga un menor número de recursos para enfrentarse a las tareas presentadas (Voelcker-Rehage et al., 2006).

En cuanto a la interferencia que tiene el desarrollo cognitivo en las tareas duales que combinan cognición y motricidad, no queda del todo claro cuál es la interferencia real, aun así, investigaciones en niños de entre 9 y 16 años, señalan que cuando se realizan tareas cognitivas simultáneas a las motrices, las tareas motrices se ven afectadas considerablemente disminuyendo su rendimiento (Schmid et al., 2007), bien sea por escasez de recursos atencionales, o por priorización de tareas (Blanchard et al., 2005). Sin embargo, en adultos de entre 18 y 26 años, se prioriza la ejecución de una correcta tarea motriz aislando la cognitiva, con el fin de protegerse de caídas o consecuencias derivadas de una mala ejecución motriz (Saxena et al., 2017). Si hablamos del grupo adulto mayor, debido al envejecimiento sensoriomotor y cognitivo, se produce una disminución en el rendimiento en condiciones de doble tarea, tanto de la tarea cognitiva como de la motora, traduciéndose en menor capacidad para mantenerse erguido o realizar actividades motrices mientras se realiza una tarea cognitiva de manera simultánea (Shumway-Cook et al., 1997; Voelcker-Rehage et al., 2006).

Marco Teórico

Cabe señalar, que el paradigma de la tarea dual está en auge, que es muy reciente y, hasta donde sabemos, no hay mucha evidencia científica que explique los comportamientos del SN en los diferentes grupos de edad y cómo la edad interfiere en su desarrollo, además de que no sólo dependerá de la edad la respuesta ante las tareas duales, sino también al tipo de tarea, tanto motriz como cognitiva, y su complejidad (Olivier et al., 2010). Son necesarios más estudios para desarrollar estrategias de mejora que aumenten el rendimiento de las tareas motrices y cognitivas de manera simultánea.

2.3.6. Evaluación de la tarea cognitiva

La medida de la tarea cognitiva ha supuesto un reto en la investigación reciente, pues son muchos los autores que señalan el nivel de dificultad de la tarea cognitiva como un factor esencial que repercute en la ejecución de la tarea motriz (Ehsani et al., 2019; Qu, 2014). Nos encontramos una gran variedad de tareas utilizadas para medir la cognición, pues hay autores que utilizan tareas relacionadas con la memoria (Huxhold et al., 2006; Mehdizadeh et al., 2015), otros con el tiempo de reacción (Lajoie et al., 1993; Weaver et al., 2012) y otros con la atención (Cohen et al., 1993; Lezak et al., 2004). Es por ello que, el autor Al-Yahya et al., (2011), creó una clasificación con 5 tipos de tareas según las funciones cognitivas que se necesitan para ejecutar dichas tareas:

1. Tareas de tiempo de reacción: miden el tiempo que transcurre desde que se presenta un estímulo hasta que hay una respuesta conductual, midiendo así la velocidad de procesamiento (Huxhold et al., 2006; Little & Woollacott, 2015).

Marco Teórico

2. Tareas de discriminación y toma de decisiones: una vez presentada la tarea, existe una atención selectiva que hará que se produzca una respuesta determinada, midiendo así la inhibición de la atención y la respuesta dada (Scarpina & Tagini, 2017).
3. Tareas de seguimiento mental: examinan la atención sostenida en el tiempo y la velocidad de procesamiento de la información (Huxhold et al., 2006; Lezak et al., 2004).
4. Tareas de memoria de trabajo: tienen que almacenar y sostener la información en la mente para así poder realizar un procesamiento posterior (Williams et al., 1996).
5. Tareas de fluidez verbal: evalúan la función ejecutiva mediante la elaboración de palabras de forma espontánea (en condiciones previamente especificadas) (Lezak et al., 2004).

En base a las tareas existentes en la literatura, se crean los test que miden las funciones cognitivas, tales como la atención, las funciones ejecutivas o la memoria:

- Test de Stroop: también conocido como la prueba de denominación de palabras y colores. Es una prueba neuropsicológica ampliamente utilizada para evaluar la capacidad de inhibir la interferencia cognitiva, que ocurre cuando el procesamiento de una característica de estímulo específica impide el procesamiento simultáneo de un segundo atributo de estímulo (Jensen & Rohwer Jr, 1966; Scarpina & Tagini, 2017).

Marco Teórico

- Test Barcelona: instrumento válido para explorar diversas funciones cognitivas implicadas en los procesos neurodegenerativos (a-Casanova et al., 1997), que incluye subescalas que evalúan el estado cognitivo con funciones tales como el lenguaje y la fonética, la atención-concentración o la memoria (Peña-Casanova, 2005).
- Test de span verbal (dígitos directos e inversos): compromete a la atención y la memoria y consta de dos partes. En una primera parte, el sujeto debe repetir una secuencia de números en el mismo orden que se le muestra, mientras que en la segunda parte debe hacerlo de forma inversa. El test de span de dígitos más utilizado para la exploración neuropsicológica es el de Weschsler (Wilde et al., 2004).
- Test de span visuoespacial (cubos de Corsi directos e inversos): para la realización de la prueba, el sujeto se encontrará con un tablero con unos cubos distribuidos de manera aleatoria. Durante la primera parte de la prueba el sujeto debe reproducir el mismo orden de la secuencia mostrada, y en la segunda debe hacerlo a la inversa (Pagulayan et al., 2006).
- Test de letter-number sequencing: esta prueba está incluida en las baterías WAIS-III y WMS-III (Crowe, 2000), y consiste en la repetición de una secuencia de números y letras en la que se debe ordenar primero los números de menor a mayor, y tras ello las letras por orden alfabético.

Marco Teórico

- El Trail Making test: En la parte A, es decir la primera, el sujeto debe unir de la forma más rápida posible los números que están en orden numérico aleatorio mediante líneas. En la parte B, la segunda, deben unir número y letra, por ejemplo el número 1 con la letra A, el 2 con la B y así sucesivamente hasta completarlo (Tombaugh, 2004).

1.3.7. Programas de entrenamientos

Dada la vinculación entre las tareas físicas y las cognitivas, actualmente son muchos los autores que investigan a cerca de la aplicación de las tareas duales y su inclusión en entrenamientos, ya que se ha comprobado que la realización de ejercicio físico de manera simultánea al ejercicio cognitivo, hace que mejoren los parámetros a nivel motor y cognitivo (Andrade et al., 2013; Coelho et al., 2013; Pérez et al., 2017).

Actualmente, la mayoría de estudios que nos encontramos en la bibliografía tratan sobre el adulto mayor, ya bien sea sano y activo (Bock, 2008; Gallou-Guyot et al., 2020), o con patologías previas tanto a nivel cognitivo, sujetos con problemas cerebrovasculares (Holmes et al., 2010; Montero-Odasso et al., 2009), como a nivel motor, problemas en el control postural (Goble et al., 2009; Wolpert et al., 2011). Tanto es así, que es difícil encontrar programas de entrenamiento para adolescentes o adultos físicamente activos y sanos, pues los que se centran en el estudio de esta población también tratan de resolver cómo afectan las tareas duales a grupos con parálisis cerebral, problemas con las caídas o mal desarrollo de las habilidades motrices (Ghai et al., 2017).

Marco Teórico

En cuanto al tipo de entrenamiento que se lleva a cabo, también hay disparidad de programas, pues la mayoría de los autores consideran que, el efecto en el rendimiento motor, será en función de la dificultad de la tarea cognitiva que se realice de manera simultánea y el grupo poblacional al que vaya dedicada (Olivier et al., 2010). Hay disparidad de resultados, pero en general, mientras mayor es la dificultad de la tarea cognitiva, mayor interferencia en la tarea motriz, traduciéndose en menor rendimiento en las pruebas motrices debido a que se produce una división en las demandas y recursos solicitados entre las dos tareas realizadas (Huxhold et al., 2006). Los ejercicios que componen estos programas, son aquellos que están basados en desequilibrios y ejercicios de marcha que se combinan de manera simultánea con ejercicios cognitivos, tales como el conteo de números, memorización de palabras o prueba del Stroop, demostrando mejoras en el rendimiento de los test de control motor y cognitivos (Ghai et al., 2017). Autores como Kim & Yoo (2019), han introducido de manera novedosa la música como tarea cognitiva simultánea a una motriz, incluyendo ejercicios de marcha a la vez que los sujetos tocaban un instrumento o cantaban canciones, obteniendo resultados favorables tanto para el control de la marcha, como para la prevención de caídas en sujetos adultos mayores sanos.

También se conoce, que según el tiempo destinado al entrenamiento, se obtendrá un beneficio mayor o menor, pues en una revisión actual, se describe que para que surja un efecto en el control postural cuando se entrenan dobles tareas, el entrenamiento motor-cognitivo debe tener una duración de entre 8 y 12 semanas, con una continuidad de entre 2

Marco Teórico

a 3 sesiones por semana, con una duración entre 15 y 45 minutos para que tenga un efecto positivo en los sujetos que participan en el entrenamiento (Ghai et al., 2017).

En resumen, se conoce que el entrenamiento dual produce un beneficio en el rendimiento motor, retrasando la aparición de enfermedades como el Alzheimer o el Parkinson (Andrade et al., 2014), previendo el riesgo de caídas (Bayot et al., 2020) y promoviendo el correcto funcionamiento del sistema motriz y cognitivo, que por consecuencia, hará que mejoren las funciones ejecutivas básicas de la vida cotidiana (Falbo et al., 2016; Hiyamizu et al., 2012; Shin & An, 2014). Aún así, la evidencia científica sigue siendo escasa y poco consistente, por lo que no es posible generalizar dichos entrenamientos en los diferentes grupos poblacionales, y es necesario mucha más investigación y aplicación práctica al respecto.

3. JUSTIFICACIÓN DE LA UNIDAD TEMÁTICA

Dada la importancia de cualidades como el control postural y la propiocepción en la prevención de lesiones, se nos crea la curiosidad de saber cómo ambas se relacionan entre sí y conocer más a fondo los entrenamientos destinados a la mejora de cada una de ellas. Podemos decir que está aceptado de manera científica que el trabajo propioceptivo puede ayudar a prevenir lesiones de origen no traumático, e influye en el mantenimiento del control postural, pero ¿y el control postural en la propiocepción? Se conoce que para entrenar cualquier cualidad es necesario estimularlas de forma epicrítica, es decir, por encima de la zona de confort o de lo que se está acostumbrado y es por ello, que para estimular la propiocepción, es necesario activar de forma epicrítica los receptores propioceptivos ubicados en ligamentos, cápsulas, vientre muscular y tendones. Para ello, dichas estructuras deben ser sometidas a una tracción que comprometa su integridad, sin la cual su estímulo es meramente reflejo o inconsciente y no supone ninguna mejora de la función propioceptiva. Cuando se trabaja el equilibrio, el receptor más comprometido no forma parte de los receptores propioceptivos, sino del sistema sensorio motriz: el aparato vestibular. Actualmente, los programas de entrenamiento propioceptivo, incluyen ejercicios que comprometen el control postural de los sujetos que los llevan a cabo; pero si bien es sabido que es necesario tener una buena propiocepción para gozar de un mejor equilibrio, no hay evidencias de que el estímulo del control postural mejore, estimule o comprometa de forma epicrítica el correcto funcionamiento de los receptores

Justificación de la unidad temática

propioceptivos. Es por ello que nos preguntamos si realmente, estimulando el control postural, conseguiremos mejorar la propiocepción cuando el estímulo que reciben los propioceptores en situaciones de desequilibrio no es epicrítico.

Tras evaluar la correlación existente entre el control postural y la propiocepción y sabiendo la relación que tienen con el sistema nervioso, quisimos conocer cómo influía en los test de rendimiento motor, la inclusión de una tarea cognitiva de manera simultánea, puesto que se acepta que en el desarrollo de las actividades de la vida diaria no hay ejecución motriz que no vaya acompañada de un procesamiento cognitivo. Actualmente hay un interés especial en el mundo de la investigación por el paradigma de la *dual task*, y en cómo interactúan las tareas cognitivas y motrices conjuntamente, pues a pesar de haber estudios que han encontrado relación entre el control postural y la tarea cognitiva, y el coste de la realización de una *dual task*, las evidencias son escasas y poco consistentes. Las referencias encontradas acerca de este paradigma, estudian en niños/as o en adultos mayores con patologías previas como el parkinson o el alzheimer, pero es interesante conocer el coste de la tarea cognitiva sobre la motora en diferentes grupos poblacionales, pues va a depender de la edad, la maduración cognitiva y motriz del sujeto y las patologías cognitivas o motrices que se presenten, que el coste sea mayor o menor y así ser más específicos a la hora de abordar entrenamientos para cada grupo poblacional.

Recientemente, se ha evidenciado un incremento de la esperanza de vida, haciendo que la comunidad científica se centre en mejorar la calidad de vida de los adultos mayores. Se ha comprobado que la Reserva Cognitiva (RC) juega un papel importante en el

Justificación de la unidad temática

desarrollo motor de los sujetos y en la ejecución de las diferentes tareas diarias a lo largo de nuestra vida. Se conoce que, a medida que vamos creciendo, nuestro SN se va deteriorando haciendo que nos sea más difícil realizar tareas motoras más complejas. Además del deterioro motor, a nivel cognitivo se experimenta un retroceso en cuanto a agilidad o rapidez mental, pérdidas de memoria y dificultad para resolver cuestiones básicas. A pesar que está demostrado que el desarrollo integral del SN mejora la longevidad de los individuos y su salud mental, es necesario crear más programas de entrenamientos para adultos mayores sanos y físicamente activos, que implementen sesiones *dual task*, que aborden diferentes métodos de trabajo tanto motor como cognitivo, para así conocer cómo realmente interfiere la una sobre la otra y a su vez conocer la influencia de la experiencia vital de los sujetos (Reserva cognitiva), en los resultados de las pruebas motor-cognitiva.

4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El objetivo de este proyecto es estudiar cómo se relacionan y/o interfieren entre sí diferentes tareas dependientes del sistema nervioso, como son el control postural, la propiocepción y la tarea cognitiva. Además, esta tesis pretende estudiar el efecto de un entrenamiento que combina la tarea motora y cognitiva, en el rendimiento de los test de propiocepción y control postural realizados con tarea cognitiva.

Para ello se llevarán a cabo tres estudios pertenecientes a una misma línea de investigación.

4.1. Objetivos del estudio 1:

1. Analizar el papel mediador de la visión en la relación entre la propiocepción consciente de los miembros inferiores (rodilla de la pierna dominante) y el control postural bipodal (ojos abiertos y ojos cerrados).
2. Analizar la correlación entre la propiocepción de los miembros inferiores (rodilla dominante), y el control postural bipodal en diferentes grupos poblacionales.

4.2. Hipótesis del estudio 1:

1. La visión tendrá un efecto mediador significativo sobre el rendimiento de los test de control postural y propiocepción.
2. No existirán diferencias significativas entre los resultados de los test de control postural y propiocepción de la rodilla en los diferentes grupos poblacionales.

Objetivos e Hipótesis

4.3. Objetivos del estudio 2:

1. Conocer cómo afecta al rendimiento del control postural y la propiocepción consciente, la ejecución de una tarea cognitiva realizada de manera simultánea en los diferentes grupos de edad.
2. Evaluar las diferencias en el test de control postural en función de la posición ejecutada en el test de Romberg y la condición realizada (con o sin tarea cognitiva).

4.4. Hipótesis del estudio 2:

1. El rendimiento de los test de control postural y propiocepción consciente, empeorarán cuando se realice de manera simultánea una tarea cognitiva, habiendo diferencias en función de los grupos de edad.
2. Tanto la posición (ojos abiertos bipodal, ojos cerrados bipodal y ojos abiertos unipodal dominante), como la condición (con o sin tarea cognitiva) realizada en el test de Romberg, influirán significativamente en los resultados de control postural en función de los grupos de edad.

Objetivos e Hipótesis

4.5. Objetivos del estudio 3:

1. Evaluar el efecto de un programa de 8 semanas de entrenamiento que integra ejercicios de equilibrio, control propioceptivo consciente y tarea cognitiva, en el rendimiento de los test de control postural y propiocepción con tarea cognitiva simultánea.
2. Describir la influencia de la Reserva Cognitiva y el volumen de actividad física realizado en los resultados de los test de control postural y propiocepción con tarea cognitiva simultánea.

4.6. Hipótesis del estudio 3:

1. La inclusión de la doble tarea motor-cognitiva en las sesiones de entrenamiento, mejorará el rendimiento de los test de control postural y propiocepción realizados con tarea cognitiva simultánea del grupo experimental con respecto al grupo control después de 8 semanas.
2. Los participantes con mayor Reserva Cognitiva y mayor volumen de actividad física, mostrarán mejores resultados en los test de control postural y propiocepción con tarea cognitiva simultánea.

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

5. ESTUDIO 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la
propiocepción

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

5.1. Introducción:

El buen funcionamiento y la salud del sistema nervioso (SN), ha demostrado condicionar la calidad de vida de las personas y el rendimiento deportivo (Wang et al., 2016). Se conoce que el cerebro, es responsable del control motor y de la adquisición de habilidades motoras y tiene una gran influencia en la organización temporal de los comportamientos motores entre otros (Werner et al., 2019). A pesar de ello, estos comportamientos no se manifiestan igual en todas las edades, alcanzando una maduración completa en la edad adulta (> 18 años), seguida de una fase de regresión en la que se van perdiendo sinapsis neuronales y borrando aquellas conexiones que no son funcionales, favoreciendo el deterioro motor entre los adultos mayores (Pérez et al., 2017).

La propiocepción y el control postural son dos de las manifestaciones del control motor y se muestran como elementos clave en la vida cotidiana de las personas, actividades deportivas y prevención de lesiones (Borghuis et al., 2008; Wang et al., 2016).

La propiocepción es una manifestación de la percepción cinestésica de las cualidades perceptivo-motrices, que se definió originalmente como el estado funcional de las articulaciones y de los músculos, que nos permiten ser conscientes de los movimientos o de la posición de una parte del cuerpo, o responder de manera inconsciente a la modificación involuntaria de la posición articular para mantener el equilibrio, el tono muscular o la coordinación muscular (Sherrington, 1906). Las señales propioceptivas se obtienen a partir de mecanorreceptores localizados en ligamentos, articulaciones facetarias, discos intervertebrales y músculos: los llamados receptores propioceptivos (Cholewicki et

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

al., 2005; Felson et al., 2009). La información recogida en estos receptores, unida a la que ofrecen otros receptores sensoriales como los del tacto cutáneo y los receptores de presión, contribuyen al sentido de la posición y el movimiento articular (Hwang et al., 2014; Lions et al., 2014).

En función del nivel del SNC al que lleguen las informaciones de los receptores propioceptivos, dicha información será consciente (percibida y controlada por el individuo), o refleja e inconsciente (Solana-Tramunt, 2011). La forma refleja nos protege de posibles agresiones de las partes blandas, y modula el tono de los músculos ante el movimiento voluntario predecible. La modalidad consciente nos permite la consciencia de la posición, del movimiento y la velocidad articular, así como la detección de la fuerza necesaria para mantener una posición o realizar un movimiento articular voluntario (Güney-Deniz & Callaghan, 2018; Lephart et al., 2003).

Por su parte, el control postural se define como la capacidad para mantener el centro de masa corporal dentro de la base de sustentación (Vanmeerhaeghe et al., 2009). Esta habilidad motriz está estrechamente ligada al SNC y evoluciona con la edad (Park et al., 2016). Su maduración dependerá de la integración de los receptores propioceptivos, táctiles, del aparato vestibular y de la información visual, ayudando todo ello en la regulación del tono y en la percepción de la fuerza y la presión (Gaerlan, 2010).

La visión y la propiocepción juegan un papel importante en el control y el mantenimiento del control postural. Sin embargo, cuando desempeñamos diferentes movimientos, el canal visual suele estar ocupado procesando información sobre agentes

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

externos al movimiento específico, por lo que el SNC necesita otras aferencias, como la propioceptiva, para procesar el control postural del cuerpo (Han et al., 2015; Williams et al., 1999). Por este motivo, en ausencia de la visión, se facilita la entrada de otras aferencias sensoriales (como la propioceptiva), a la corteza sensitiva primaria del lóbulo parietal (Goodman & Tremblay, 2018). Adicionalmente, si se focaliza la atención en la estabilidad de una articulación corporal, el SN prioriza la entrada de las aferencias propioceptivas para facilitar el registro consciente de la posición articular, permitiendo la mayor eficacia en el control postural asociado a esa articulación (Ansorge et al., 2007; Vaugoyeau et al., 2008).

Actualmente, el entrenamiento o la estimulación de la propiocepción y el control postural juegan un papel fundamental en la readaptación y rehabilitación deportiva (Suner-Keklik et al., 2017), aceptándose que son cualidades claves en la prevención de lesiones en miembros inferiores (Michaelidis & Koumantakis, 2014), especialmente en la rodilla, dado que se considera que la rodilla, con la ayuda de la cadera, el tobillo y los dedos del pie, es la articulación que proporciona mayor estabilidad al cuerpo (Neumann, 2013).

De acuerdo con Riva et al., (2016), existen muchos trabajos en los que se implementan sesiones de ejercicios de inestabilidad y control postural con el objetivo de mejorar la propiocepción y reducir lesiones. Sin embargo, recientemente se ha observado que no todas las propuestas de ejercicios descritos dentro de los programas de propiocepción suponen una mejora de esta cualidad (Lee et al., 2015).

Se acepta que para entrenar cualquier cualidad del cuerpo humano es necesario someter a los sistemas y órganos que la condicionan a un estrés por encima de sus

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

posibilidades o, lo que es lo mismo, a una carga epicrítica que provoque la adaptación positiva de dicha cualidad (Verkhoshansky, 1998). El control postural y la propiocepción tienen diferentes mecanorreceptores, por lo que estimular a los receptores que condicionan el control postural no implica necesariamente que se estimule de forma epicrítica a los receptores propioceptivos y, en consecuencia, se mejore la propiocepción (Ashton-Miller et al., 2001; Lee et al., 2015). A pesar de que se conoce que la propiocepción juega un papel fundamental en el control postural, se desconoce el papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción. Es por ello, que el objetivo principal de este estudio, será analizar el papel mediador de la visión en la relación entre la propiocepción consciente de los miembros inferiores (rodilla de la pierna dominante) y el control postural bipodal (ojos abiertos y ojos cerrados) en diferentes grupos de edad.

Se hipotetiza que, la visión tendrá un efecto mediador significativo sobre el rendimiento de los test de control postural y propiocepción. Además, se prevé que no correlacionarán el rendimiento de los test propioceptivos con los del control postural.

5.2. Material y Métodos

5.2.1. Diseño

Se utilizó un diseño transversal aleatorizado de medidas repetidas para determinar la diferencia entre el rendimiento de las pruebas de propiocepción y control postural según la edad de los participantes.

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

5.2.2. Participantes

La muestra total de este estudio estuvo formada por 119 sujetos físicamente activos (resultados obtenidos del cuestionario IPAQ) (4611.03 ± 1620.97 METS), de entre 12-85 años, reclutados en diferentes centros educativos y deportivos, los cuales fueron posteriormente divididos por grupos de edad: Adolescentes (12-18); Jóvenes Adultos (19-35); Adultos (36-64); Adultos Mayores (65-85) (Tabla 1). Los criterios de exclusión marcados para la participación en el estudio fueron: i) sufrir alguna patología neurológica como Alzheimer o Parkinson, ii) estar incapacitado para realizar alguno de los test, iii) estar sometido a tratamientos farmacológicos que alterasen el normal funcionamiento de las pruebas y/o iv) estar sometido a una cirugía de reemplazo de articulación de miembro inferior (12 meses antes de los test).

Tabla 1. Características demográficas de los participantes.

Grupo	n	Edad (Años)	Peso (Kg)	IMC	Nivel de Actividad Física
Adolescentes	30	14.43±1.65	58.06±11.06	20.97±2.99	3320.89±1204.57
Jóvenes adultos	29	23.63±2.68	62.18±9.65	22.09±2.20	4218.95±1824.16
Adultos	30	45.4±6.67	68.5±24.56	23.92±3.66	6976.26±2898
Adultos mayores	30	73.53±5.94	65.75±7.11	25.75±2.42	3927.76±1569.32

Los datos se expresan como media (desviación estándar).

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

Antes de la recopilación de los datos, se utilizó el programa de software G * POWER (Düsseldorf FRG, Departamento de Psicología de la Universidad de Düsseldorf) para calcular el tamaño de muestra necesario para obtener una Potencia $(1-\beta) > 0,9$ con un tamaño del efecto de 0,35. El nivel de significancia se estableció en $p < 0.05$ para todos los análisis que se llevaron a cabo utilizando el software SPSS versión 24.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL, EE. UU.).

El estudio fue realizado en base a los estándares éticos marcados en la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el comité ético de la Universitat Ramon Llull. Todos los sujetos que participaron en el estudio fueron informados del procedimiento de este y firmaron un consentimiento informado.

5.2.3. Procedimiento

Días antes de la realización del protocolo de medición, los investigadores se desplazaron a los centros en los que se encontraban los sujetos para recolectar datos sobre su historial médico. Esto incluyó datos relativos a las características físicas de los sujetos, así como la información relativa a los criterios de inclusión/exclusión. De acuerdo con Van Melick et al., (2017), la pierna dominante se estableció a través del rendimiento autoinformado de los participantes sobre tareas de movilización bilateral de las piernas. Con el objetivo de que el orden de aplicación de las pruebas de propiocepción y control postural no influyese en los resultados, se estableció un orden aleatorio de administración de las pruebas individual para cada participante. Por último, cada sujeto relleno el IPAQ para conocer sus niveles de actividad física autorreportada.

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

Propiocepción

Para evaluar la propiocepción se calculó el Error Absoluto de reposicionamiento articular a 45° (AEr45°) de la rodilla de la pierna dominante, con una aplicación móvil válida y fiable llamada Goniometer Pro (2.9, FiveFufFive co, Bloomfield, NJ, United States), instalada en un *smartphone* Galaxy J7 (Samsung, Seoul, South Korea). Mediante esta aplicación, validada previamente (Melián-Ortiz et al., 2019), se puede utilizar el dispositivo móvil como un goniómetro digital proporcionando lecturas instantáneas, precisas y repetibles del rango de movimiento (ROM), para medir la diferencia entre el ángulo de rodilla solicitado y desarrollado (Mourcou et al., 2016).

En primer lugar, se les colocó a los sujetos unas botas ortopédicas (Figura 12) en cada una de las piernas, con el fin de anular la adaptación que realizan los dedos del pie y el tobillo y centrarnos en el uso exclusivo de la rodilla. A continuación, los investigadores colocaron el *smartphone* alineado a la longitudinal del fémur, con la base del dispositivo alineado a la interlínea de la articulación femorotibial.

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción



Figura 12. Botas ortopédicas usadas en el estudio.

Aunque en trabajos previos se hizo uso de botas de esquí para limitar el movimiento de los dedos del pie y tobillo (Noé et al., 2020), en este estudio se sustituyó la bota de esquí por la ortopédica debido a la facilidad para poner y quitar la bota. Además, de esta manera se pudo equiparar a todos los sujetos por igual en cuanto tallas o sujeción, ya que las botas llevaban unas correas ajustables que se adaptaban a cualquier tamaño de pie, restringiendo así la flexión plantar y dorsiflexión.

Una vez los sujetos fueron equipados con el instrumental, cerraron los ojos y los investigadores los colocaron en una posición de 45° de flexión de la rodilla y les indicaron que mantuvieran dicha posición durante seis segundos. Posteriormente, se les pidió a los sujetos que volvieran a la posición inicial de bipedestación y que cuando estuviesen preparados, volviesen a flexionar las rodillas hasta llegar a la posición en la que creían que habían estado posicionados previamente por el investigador con los ojos cerrados. Se anotaron los ángulos de reposicionamiento en la rodilla dominante repitiendo la medición 3 veces y anotando la media de los resultados. Se registró el valor absoluto de la diferencia

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

entre el ángulo solicitado (45°) y el realizado, para conocer la capacidad de reposicionamiento articular de los participantes, variable a través de la cual se cuantifica la propiocepción consciente (Mourcou et al., 2016).

Control Postural

El control postural se evaluó con una plataforma de fuerzas Kistler (Kistler Instruments AG, Winterthur, Switzerland) conectada a un ordenador portátil con el software Kistler MARS 3.0. Para la evaluación del control postural bipodal, se pidió a los sujetos que se subiesen sobre la plataforma y realizasen el test de Romberg en 2 condiciones diferentes: Romberg bipodal ojos abiertos (ROA); Romberg bipodal ojos cerrados (ROC). Previamente a la realización del test, el sujeto recibió pautas tales como mantenerse erguido con la mirada fija en un punto, y con los brazos extendidos lateralmente pegados al tronco. Se les pidió además colocar los pies con una apertura similar a la anchura de sus hombros. Igual que en el test propioceptivo, los sujetos llevaron puesto unas botas ortopédicas en cada una de las piernas con el fin de equiparar las pruebas propioceptivas y de control postural, para así aislar la primera adaptación de los dedos del pie y el tobillo y que la rodilla, junto con la cadera, fuesen el estabilizador principal. La duración de cada test fue de 30 segundos y se realizaron 3 repeticiones por cada condición.

Las variables de control postural obtenidas a partir de las señales del Centro de Presiones (CoP) adquiridas por la plataforma de fuerzas fueron: el área total y la velocidad media en dirección antero-posterior (VM_{AP}) y medio-lateral (VM_{ML}). Mientras que el área total es un indicador del rendimiento de la tarea de control postural, la VM_{AP} y VM_{ML}

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

informan sobre la actividad neuromuscular utilizada para mantener el control postural (Paillard & Noé, 2015). En todas las variables estudiadas, los valores más bajos se asocian a un mejor rendimiento en la tarea.

Tanto las mediciones de variables relacionadas con la propiocepción como con el control postural, se realizaron en una sala libre de perturbaciones y distracciones. Por último, el orden de realización de los test fue aleatorizado para cada sujeto, y se repitieron cada una de las condiciones 3 veces por 30 segundos cada una de ellas.

5.3. Análisis Estadístico

En primer lugar, se realizó la comprobación del supuesto de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y posteriormente, se calculó si existían diferencias múltiples en las diferentes variables independientes en función de diferentes factores.

Las variables dependientes de control postural, fueron analizadas de forma individual a partir de un análisis de la varianza multivariante unidireccional (MANOVA de una vía) para determinar si mostraban diferencias combinadas a partir del factor intra-sujetos condición (x2: OA y OC) y el factor inter-sujetos grupo (x4: Adolescentes, Jóvenes adultos, Adultos y Adultos mayores). Se aplicó un ANOVA de una vía a la variable propiocepción para probar así la diferencia entre los grupos de edad. En caso de significación estadística, se aplicaron las pertinentes pruebas post hoc para las comparaciones por pares con la corrección de Bonferroni.

El seguimiento de los contrastes multivariados en cada caso se realizó mediante contraste univariado para determinar en qué variables dependientes influyeron los factores

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

independientes. Se utilizó Eta cuadrado parcial (η^2p) 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.

Para estudiar la relación entre los diversos parámetros de control postural y propiocepción, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson. Las relaciones entre las variables se evaluaron con los siguientes umbrales: <0,1 trivial, de 0,1 a 0,3 pequeño, de 0,3 a 0,5 moderado, de 0,5 a 0,7 grande, de 0,7 a 0,9 muy grande y de 0,9 a 1,0 casi perfecto (Hopkins et al., 2009).

Se utilizó el software SPSS Versión 21 (SPSS Inc., Chicago, IL, EEUU) para todos los cálculos estadísticos y se fijó un valor de $p < 0.05$ como nivel de significancia para todos los análisis estadísticos.

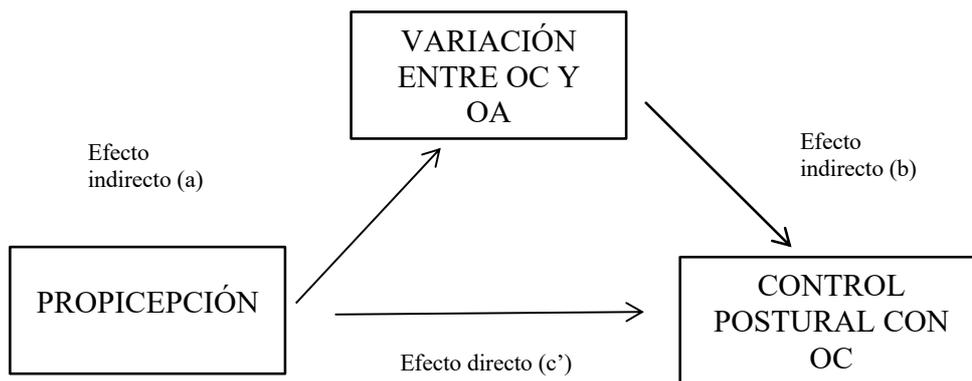
A parte del análisis de correlaciones entre las diferentes variables, también se calculó una nueva variable basada en el porcentaje de variación entre los resultados de control postural con OA (ojos abiertos) y OC (ojos cerrados), y se utilizó un modelo de análisis de mediación simple para examinar los efectos directos e indirectos de la propiocepción como variable predictora (VP), sobre el control postural con ojos cerrados como variable dependiente (VD), a través de la mediación de la variación de los resultados con ojos cerrados respecto a ojos abiertos (VAR_OC) como variable mediadora (VM). Las asociaciones a través de este análisis de mediación se representan en el siguiente gráfico.

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

En el análisis de mediación simple, se produce un efecto total (c) cuando existe una influencia de la propiocepción (VP) sobre el control postural OC (VD) sin tener en cuenta en el análisis la participación de VAR_OC (VM). Por otro lado, se produce un efecto indirecto (a x b), cuando existe una influencia de la propiocepción (VP) sobre el control postural OC a través de VAR_OC (VM) y por último, se produce un efecto directo (c'), cuando existe influencia de la propiocepción (VP) sobre el control postural OC en presencia de VAR_OC (VM), pero no a través de ella.

La mediación podrá ser total si la propiocepción (VP), ejerce toda su influencia a través de la variable mediadora (VAR_OC) y la mediación será parcial si la propiocepción (VP), ejerce parte de su influencia a través de la variable mediadora (VAR_OC) y también ejerce parte de su influencia directamente sobre la variable dependiente y no a través de la variable mediadora. Así, la influencia se ejerce sobre la VD tanto a través de la VP, como de la VM. Entonces la ruta a*b y la ruta c' son ambas significativas.



Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

5.4. Resultados

El análisis multivariado llevado a cabo en cada una de las variables de control postural, muestra un efecto de interacción significativo de condición x grupo en VM_{AP} ($F_{(2,114)}=661.68$; $p<0.001$; $\eta^2_p=0.92$), VM_{ML} ($F_{(2,114)}=397.89$; $p<0.001$; $\eta^2_p=0.87$) y área total ($F_{(2,114)}=118.45$; $p<0.001$; $\eta^2_p=0.67$) y un efecto principal significativo del factor grupo también en las tres variables VM_{AP} ($F_{(3,115)}=10.95$; $p<0.001$; $\eta^2_p=0.19$), VM_{ML} ($F_{(3,115)}=14.42$; $p<0.001$; $\eta^2_p=0.27$) y área total ($F_{(3,115)}=9.38$; $p<0.001$; $\eta^2_p=0.19$). Las comparaciones por pares se muestran en la Figuras 13 y 14, así como los datos descriptivos de las variables de control postural en los tres bloques.

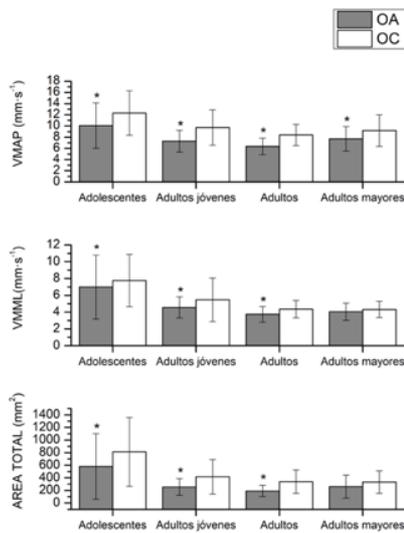


Figura 13. Comparaciones por pares condición por grupo.

OA = Ojos abiertos; OC = Ojos cerrados; VM_{AP} = velocidad media antero-posterior; VM_{ML} = velocidad media medio-lateral.

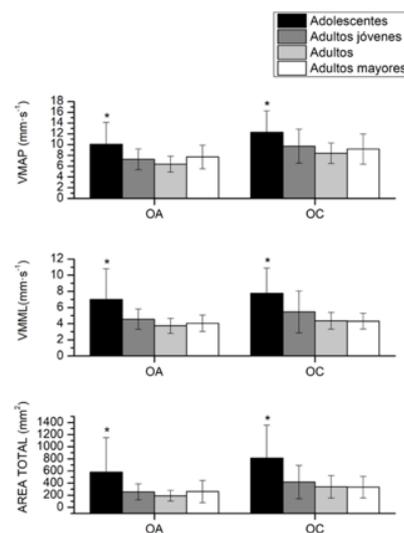


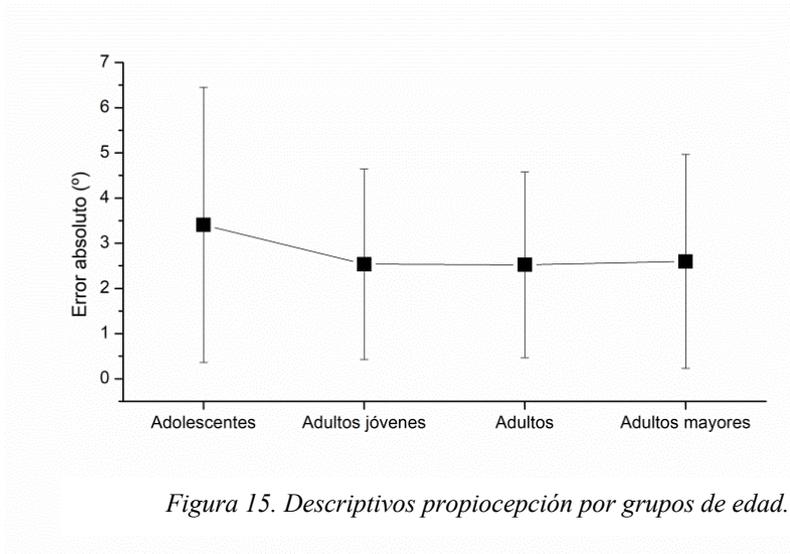
Figura 14. Comparaciones por pares grupo por condición.

OA = Ojos abiertos; OC = Ojos cerrados; VM_{AP} = velocidad media antero-posterior; VM_{ML} = velocidad media medio-lateral.

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

El ANOVA de una vía aplicado a la variable propiocepción no mostró diferencias significativas entre los grupos ($F_{(3,115)} = 1.63$; $p = 0,39$), la figura 15 muestra los datos descriptivos y la comparación por grupos de la variable propiocepción.



Los resultados de las correlaciones mostraron resultados triviales y no significativos entre las variables de control postural y las variables de propiocepción que oscilan entre $r = 0.01$ y $r = 0.09$.

Se encontraron correlaciones débiles entre el error de reposicionamiento con respecto a la propiocepción y las variables VM_{AP} ROA, VM_{AP} ROC y el área total en lo que respecta al control postural. Todas las matrices de correlación se pueden mostrar en la tabla 2.

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre propiocepción y control postural con ojos abiertos y cerrados.

	VM_{AP} ROA	VM_{ML} ROA	Área total ROA	VM_{AP} ROC	VM_{ML} ROC	Área total ROC
VM_{ML}_ROA	0.79*	—				
Área total_ROA	0.74*	0.80*	—			
VM_{AP}_ROC	0.78*	0.63*	0.55*	—		
VM_{ML}_ROC	0.70*	0.81*	0.63*	0.79*	—	
Área total_ROC	0.65*	0.67*	0.72*	0.72*	0.82*	—
Propiocepción	-0.06	0.01	0.05	0.09	0.09	0.03

ROA = Romberg bipodal ojos abiertos; ROC = Romberg bipodal ojos cerrados; VM_{AP} = velocidad media antero-posterior; VM_{ML} = velocidad media medio-lateral.

El análisis de mediación se aplicó para evaluar la función mediadora de la variable que midió la variación de los parámetros de control postural, con OC y OA (VAR_OC) en la relación entre propiocepción y las variables de control postural con OC. Los resultados se muestran en la tabla 3 y muestran que no existe efecto significativo, ni total ni directo en ninguna de las variables, en cambio sí que existe un efecto indirecto significativo en las variables VM_{AP}ROC y VM_{ML}ROC pero no en área total, por lo tanto estos resultados muestran una mediación total de VM_{AP}ROC y VM_{ML}ROC en la relación entre propiocepción y control postural, en cambio la variable de área total muestra una mediación nula.

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

Tabla 3. Estimación de la mediación de la variable (VAR_OC) en la relación entre propiocepción y las variables de control postural con OC

Variable control postural	Efecto	Coefficiente	Intervalo confianza	t	p-valor	% mediación
AP	Indirecto (a x b)	0.070	0.008; 0.132	2.223	0.026*	88.1
	Directo (c)	0.009	-0.147; 0.167	0.118	0.906	11.9
	Total (c + a x b)	0.079	-0.078; 0.238	0.988	0.323	100.0
ML	Indirecto (a x b)	0.045	0.002; 0.089	2.050	0.040*	74.1
	Directo (c)	0.016	-0.103; 0.135	0.263	0.792	25.9
	Total (c + a x b)	0.061	-0.058; 0.182	1.009	0.313	100.0
AREA TOTAL	Indirecto (a x b)	-2.12	-6.73; 2.49	-0.902	0.367	34.5
	Directo (c)	4.04	-9.19; 17.26	0.598	0.550	65.5
	Total (c + a x b)	1.92	-12.00; 15.83	0.270	0.787	100.0

AP = Antero Posterior; ML = Medio Lateral; t = z ; $P < 0.05$ indica diferencia significativas

5.5. Discusión

El objetivo principal de este estudio fue analizar el papel mediador de la visión en la relación entre la propiocepción consciente de los miembros inferiores (rodilla de la pierna dominante) y el control postural bipodal (ojos abiertos y ojos cerrados) en diferentes grupos de edad.

El análisis de mediación mostró un efecto indirecto significativo entre la propiocepción y las variables de control postural de VM_{AP} Y VM_{ML} con ojos cerrados, pero no con el área total. En este sentido, cuando los participantes realizaban los test de control postural bipodal con ojos cerrados, las puntuaciones en las variables de desplazamiento del centro de gravedad aumentaron en todos los grupos de edad, aunque no de manera

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

significativa en el grupo adulto mayor. Esto significa que en ausencia de visión, la principal fuente de información aferente necesaria para el control postural de una articulación específica es la propioceptiva (Goodman & Tremblay, 2018) y que cuando la información visual está disponible, el tálamo da prioridad a esta entrada y la transmite a la corteza cerebral, haciendo esto que la información visual se interponga en el camino de una mejor conciencia del movimiento y el posicionamiento de las articulaciones (Gilman, 2002).

Para mejorar la propiocepción, se considera necesario implementar entrenamientos sin estimulación visual, ya que gracias al funcionamiento de las neuronas espejo, cuando un participante puede ver, aprende el patrón de movimiento y puede imitarlo. Es por ello que tendemos a depender ante todo de la información visual para poder replicar un patrón de movimiento aprendido (Solana-Tramunt, 2011), sin embargo, en ausencia de visión, hay un uso predominante de propiocepción más que de información vestibular (Goodman & Tremblay, 2018). El uso de la información propioceptiva que llega al área sensitiva primaria de la corteza parietal, puede ayudar a controlar el nivel de interpretación consciente de un estímulo y mejorar las habilidades neurofisiológicas necesarias para la atención constante a una tarea, ayudando a su vez a garantizar que el movimiento requerido se recuerde con mayor eficacia (Ansorge et al., 2007).

Aunque el control postural y la propiocepción implican el uso de mecanorreceptores, ambos requieren un tipo diferente de información sensorial. El sistema sensoriomotor está mediado por las señales que permiten la integración de la entrada sensorial para controlar y desarrollar movimientos, e incluye receptores propioceptivos y

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

otros mecanorreceptores aferentes como señales vestibulares y táctiles (Felson et al., 2009; Gaerlan, 2010; Solana-Tramunt, 2011). Sin embargo, cada entrada de los mencionados mecanorreceptores propioceptivos, vestibulares y táctiles, se procesa en diferentes áreas y ubicaciones de la corteza sensorial primaria (Goldstone et al., 2018). Esto podría explicar la falta de asociación entre los índices de estabilidad de las pruebas de control postural y los valores de reposicionamiento articular, apuntando a la conclusión de que los receptores propioceptivos no se activan necesariamente durante los ejercicios de control postural (Lee et al., 2015). En contraposición, otros estudios que examinaron el vínculo entre el control postural y la propiocepción con diferentes articulaciones han encontrado correlaciones, como por ejemplo, entre la propiocepción de la rodilla en un ángulo de flexión de 45° y el control postural (estático y dinámico). Los autores justifican dicha correlación a que cuando la rodilla se encuentra en un ángulo de 45°, el cuádriceps ejerce más fuerza soportando mejor la flexión y mejorando así tanto la estabilidad de la rodilla, como el control del centro de gravedad relacionado con el control postural (Wang et al., 2016). A pesar de estos hallazgos, los autores de estos estudios observaron que no se puede utilizar un método único de forma aislada para evaluar la capacidad de un individuo para sentir y equilibrarse (Lee et al., 2015; Wang et al., 2016).

Según los grupos de edad, no hubo diferencias significativas reseñables, aunque los adolescentes realizaron peor que el resto de grupos la prueba de propiocepción. Esto puede deberse a la falta de maduración cognitiva en esta edad, ya que la calidad de la modalidad consciente de la propiocepción depende de múltiples factores, que hacen que la

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

información propioceptiva llegue al área sensorial primaria de la corteza cerebral con suficiente intensidad y frecuencia, pasando por el tálamo, donde se procesará la información con el resto de *inputs* sensoriales recibidos (Goldstone et al., 2018). Adicionalmente, la maduración del sistema músculo-esquelético en este grupo de edad, se realiza de forma más tardía a la del SN. Esto implica que los receptores propioceptivos situados entre las fibras de los músculos y ligamentos en estado de crecimiento, no consiguen recoger el estímulo de tracción necesario para desencadenar adecuadamente la información sobre la longitud exacta del ligamento y del músculo, por lo que la tarea propioceptiva en estas edades es menos eficiente (Prieto-Mondragón et al., 2019). Al igual que en el test propioceptivo, en las pruebas de control postural también el grupo de adolescentes obtuvo el peor desempeño con respecto al resto de grupos, ratificándose así el papel que juega el SNC en el control y desarrollo del control postural. Viel et al., (2009), afirmó que los adolescentes no pueden utilizar la información propioceptiva con fines de control postural, pudiendo ser debido a un retraso en el desarrollo que se resuelve en la edad adulta, utilizando estrategias posturales diferentes a las que utilizan los adultos.

El hecho de que no existiera una correlación entre el control postural y la propiocepción en la investigación actual no significa que estas dos cualidades perceptivo-motrices sean completamente independientes entre sí. Muchos métodos de entrenamiento bien establecidos, utilizan tareas de inestabilidad para ayudar a mejorar la propiocepción a pesar de la evidencia de que los receptores propioceptivos no se activan durante el trabajo de control postural (McCaskey et al., 2015). Sin embargo la propiocepción, juega un papel

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

fundamental en el control postural, ya que la información recogida por el sistema propioceptivo permite realizar ajustes en el control y ejecución de los movimientos a través del cerebelo, la corteza cerebral y el tálamo (Goldstone et al., 2018), evitando así el riesgo de lesiones durante la actividad deportiva y durante los problemas que surgen en el día a día (Jo et al., 2011; Newcomer et al., 2000). En consecuencia, los ejercicios de propiocepción efectivos pueden mejorar positivamente el funcionamiento del control postural dinámico y estático (Lima et al., 2017). A pesar de que se han realizado algunos estudios sobre el vínculo entre la propiocepción y el control postural en personas que padecen lesiones de ligamento cruzado anterior (LCA) (Lee et al., 2015), existe una escasez de evidencia científica sobre cómo estos vínculos se manifiestan en individuos sanos. Los resultados que se presentan en este estudio sugieren que, si bien la información propioceptiva puede jugar un papel importante para ayudar a mantener el control postural, el desempeño de los participantes en las pruebas de propiocepción no mostró una correlación con sus puntuaciones de control postural.

A diferencia de la gran mayoría de investigaciones anteriores sobre propiocepción, este estudio ha hecho uso de un método novedoso, válido y fiable para medir el rango de movimiento de la rodilla, una aplicación para *smartphone* previamente validada (Melián-Ortiz et al., 2019). Los métodos contemporáneos utilizados para medir la propiocepción, tienden a estar dirigidos a analizar la sensación de posicionamiento articular, el umbral para detectar el movimiento pasivo y la sensación de fuerza (Mora et al., 2018). La literatura muestra tres métodos básicos utilizados para lograr estos fines: el método de límites, el

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

método de ajuste y el método de estímulos constantes (Han et al., 2016), con datos recolectados mediante sensores de inclinación o dinamómetros isocinéticos para la detección pasiva de movimiento (Lee et al., 2015; Wang et al., 2016). Sin embargo, algunos investigadores han señalado que estos métodos tradicionales son muy costosos y poco prácticos a la hora de usarlos, por lo que están listos para ser reemplazados por aplicaciones que ya están disponibles para los mismos propósitos (Lee & Han, 2017) y que además podrían mejorar la eficiencia y precisión de las mediciones (Kolber et al., 2013).

En la presente investigación, se optó por centrar las medidas en la articulación de la rodilla, porque junto con la cadera, los dedos de los pies y los tobillos, recae sobre ella la función de proporcionar estabilidad al cuerpo. De hecho, los ligamentos de la rodilla proporcionan un grado de estabilización que es fundamental tanto para los movimientos hacia adelante como hacia atrás y para la rotación externa e interna (Neumann, 2013). A su vez, la colocación de la rodilla en flexión de 45° provoca cambios en la hemodinámica de rodilla y tobillo y en el mundo del deporte, este parámetro es fundamental para las estrategias destinadas a la prevención y rehabilitación de las lesiones de las extremidades inferiores (Ghai et al., 2016). Es por ello, que con el fin de eliminar los efectos de una adaptación inicial de los dedos de los pies y los tobillos y enfocar la propiocepción y el control postural únicamente en las rodillas (controlado por la estabilidad que proporciona la cadera), los participantes fueron equipados con botas ortopédicas. Si bien en investigaciones anteriores se han empleado botas de esquí (Noé et al., 2009; Noé & Paillard, 2005), las botas ortopédicas nos permitieron recolectar medidas más confiables

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

de las rodillas, por permitir una flexión completa sin realizar dorsiflexión con el pie. Adicionalmente, se controló con la ayuda de un investigador, que los participantes no realizaran movimientos de flexión de cadera para equilibrarse, controlando la verticalidad del tronco en todo momento con el objetivo de priorizar los mecanismos de control postural provenientes de la rodilla. Cabe destacar que este no es el primer estudio que se ha enfocado en la rodilla para corregir cualquier adaptación realizada por los dedos de los pies o los tobillos (que también desempeñan un papel clave en el control postural) (Lee et al., 2015), aunque, hasta donde saben los autores, sí que es el único estudio que ha utilizado botas ortopédicas para este fin.

Por último, algunos trabajos anteriores han concluido que una combinación de ejercicios de propiocepción y control postural practicados de manera constante, pueden ser particularmente beneficiosos para prevenir lesiones de rodilla en todos los grupos de edad (Riva et al., 2016) o caídas en las personas mayores (Nagano et al., 2016). Además, los programas de entrenamiento que incluyen ejercicios para mejorar la propiocepción, pueden ser una forma eficaz de mejorar la función motora a su vez (Aman et al., 2015; Vaillant et al., 2017).

Con respecto a las aplicaciones prácticas, los entrenadores deberían tener en cuenta el papel de la visión y saber que para mejorar el control consciente de la posición de una parte del cuerpo, los ejercicios planteados deberían hacerse con los ojos cerrados, mientras que si el objetivo es la mejora del control postural general, pueden aplicarse ejercicios que

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

comprometan el control postural con los ojos abiertos para facilitar la participación conjunta de la información visual, propioceptiva y vestibular en la ejecución de la tarea.

5.6. Limitaciones y Líneas Futuras

Como limitaciones sobre el estudio nos encontramos con que somos el primer estudio que utiliza botas ortopédicas para la fijación del pie y el tobillo, hecho que nos hace no tener información al respecto para rebatir nuestros resultados o para afirmar que sea lo suficientemente útil para la valoración del control postural y propiocepción de la rodilla. Es por ello que se necesitan más estudios sobre la fijación de la rodilla, para obtener mayor información y por consecuencia mayor aplicabilidad.

Con respecto a las líneas futuras, son necesarios más estudios para determinar la metodología de entrenamiento más apropiada para la mejora de cada una de las cualidades perceptivo motrices, tanto o más importante para el rendimiento deportivo que el entrenamiento de las cualidades físicas básicas.

Adicionalmente, son necesarios más estudios que incluyan la utilización de la goniometría a través de aplicaciones móviles como el Goniometer Pro, que es un método de medida gratuito, válido, fiable, y al alcance económico y técnico de los profesionales del deporte y la rehabilitación, que puede fomentar la medida de la propiocepción de una manera sencilla.

5.7. Conclusiones

Los resultados de este estudio mostraron la mediación indirecta surgida entre la propiocepción y las variables de control postural con ojos cerrados. Se obtuvieron

Estudio 1:

El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción

correlaciones triviales y no estadísticamente significativas entre las medidas de propiocepción y el control postural bipodal. Se comprobó que en ausencia de la visión, todos los grupos tuvieron un desempeño peor en las pruebas de control postural, excepto el grupo de adulto mayor que no obtuvo diferencias entre realizar el test con ojos abiertos o cerrados. Por lo tanto, los entrenadores tendrían que tener en cuenta la importancia de entrenar sin visión para mejorar el control consciente de la posición de una parte del cuerpo a través de la propiocepción en sus sesiones futuras.

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

6. ESTUDIO 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas.

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

6.1. Introducción

Durante la mayoría de las tareas de la vida cotidiana, el sistema nervioso central (SNC) procesa múltiples informaciones de forma simultánea para poder desarrollar acciones de control motor y cognitivo (Herath et al., 2001). Desde la infancia, el ser humano se adapta y crea recursos para integrar dichas tareas, ya sean simples o complejas (Shumway-Cook & Woollacott, 2007). A esta capacidad de coordinar tareas simultáneas se la denomina doble tarea o “*dual task*” y es intrínseca en la mayoría de las acciones que el sistema nervioso (SN) realiza a diario (Fujiyama et al., 2012).

Los estudios que investigan sobre la tarea dual, se centran en analizar las demandas de atención de una tarea motora, o bien en examinar los efectos de las tareas cognitivas o motoras concurrentes sobre el desempeño motor (Huang & Mercer, 2001). Este último paradigma se denomina de atención dividida o tiempo compartido, y su metodología es utilizada para evaluar las demandas de atención de una tarea motora específica, considerada principal, sobre una tarea cognitiva secundaria (Huang & Mercer, 2001). La tarea secundaria está dirigida a desfocalizar la atención de la persona que ejecuta la tarea principal hacia un agente externo, de manera que comprometa la elaboración de la respuesta motriz de dicha tarea (Wulf et al., 2001).

Por habilidad o tarea motora entendemos aquella que implica la elaboración de una respuesta en forma de contracción muscular, para por ejemplo, el control postural o responder a las aferencias propioceptivas, ambas controladas directa o indirectamente por un proceso cognitivo que puede ser consciente o inconsciente (Solana-Tramunt, 2011). Por

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

otro lado, la habilidad o tarea cognitiva, se define como las destrezas y procesos del cerebro que nos permiten recibir, procesar y elaborar información para la realización de una tarea (Reed, 2012), que incluyen la atención, comprensión, elaboración y memorización de dicha información (Barca-Enriquez et al., 2015).

La influencia de la tarea cognitiva sobre tareas motoras como el control postural, podría explicarse mediante tres modelos teóricos. El primer modelo, denominado de interacción no lineal en forma de U, sugiere que el control postural puede mejorarse o disminuirse dependiendo de si la demanda cognitiva de la tarea secundaria es baja o alta. El modelo de competencia entre dominios, propone una lucha por los recursos atencionales entre el sistema cognitivo y el control postural, mermando la eficiencia de la respuesta postural. Y el tercer y último modelo, el de priorización de tareas, da respuesta a cómo los seres humanos utilizan y priorizan entre diferentes tareas (Wollesen et al., 2020), por lo tanto, cuando se presentan dos tareas a la vez, el tiempo de reacción de cada tarea, especialmente la secundaria, se retrasa drásticamente (Jiang, 2004). Esto se debe a que el área cortical de procesamiento de la tarea motriz y cognitiva en el SN son diferentes, lo que implica la necesaria activación de las cortezas de asociación y el enlentecimiento de la respuesta (Barahona et al., 2011).

La propiocepción fue definida por primera vez como el estado funcional de las articulaciones y de los músculos, que nos permiten ser conscientes de los movimientos o de la posición de una parte del cuerpo, o responder de manera inconsciente a la modificación involuntaria de la posición articular para mantener el control postural, el tono

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

muscular o la coordinación muscular (Sherrington, 1906), se recibe en aferencias procedentes de los receptores propioceptivos, ubicados en fascias, ligamentos, cápsulas articulares y fibras del vientre muscular y del tendón (órgano tendinoso de Golgi, usos muscularos y receptores de Ruffini y de Pacini) (Solana-Tramunt, 2011). Por otro lado, el control postural, conocido como la capacidad para mantener el centro de masa corporal dentro de la base de sustentación (Ivanenko & Gurfinkel, 2018), se procesa a partir de la información recibida del aparato vestibular, del oído interno, la información visual, de presión, táctil y propioceptiva (Gaerlan, 2010). Tanto las aferencias que aportan información propioceptiva como las de control postural, llegan al tálamo, que permitirá o retrasará la entrada de estas informaciones a la corteza sensitiva primaria en el lóbulo parietal (Goldstone et al., 2018). Por otro lado, la información cognitiva es enviada por el tálamo para ser procesada y regulada por el cerebelo y sus respectivos hemisferios según la función que se desempeña, ya bien sea lenguaje, atención o memoria (Trelles & Thorne, 1986).

La medida de la tarea cognitiva ha supuesto un reto para la investigación reciente. Se cree que el nivel de dificultad de la tarea cognitiva repercute en la ejecución de la tarea motriz, por eso se considera esencial elegir cuál es la tarea cognitiva más adecuada en función de la edad de los sujetos y de sus patologías previas (Ehsani et al., 2019; Qu, 2014). Unas de las pruebas más utilizadas son el conteo de números, la selección de imágenes, mencionar nombres de animales, o la prueba de cognición de Stroop, que incluye varias de estas habilidades (Ehsani et al., 2019; Villarrasa-Sapiña et al., 2019). Uno de los test

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

utilizados para medir las diferentes áreas de la tarea cognitiva es el Test Barcelona (Peña-Casanova et al., 2009) entre otros. Este test ha demostrado ser un instrumento válido para explorar diversas funciones cognitivas implicadas en los procesos neurodegenerativos (a-Casanova et al., 1997), e incluye subescalas que evalúan el estado cognitivo con funciones tales como el lenguaje y la fonética, la atención-concentración o la memoria (Peña-Casanova, 2005).

En la actualidad, son muchos los autores interesados en el paradigma de la *dual task*, y en cómo influye la tarea cognitiva en el rendimiento de la tarea motriz. Mayoritariamente, el estudio se ha centrado en el control postural y la marcha en niños, adolescentes o adultos mayores (con patologías tales como demencia o parkinson), demostrándose así el gran efecto que una tarea cognitiva tiene sobre las tareas motrices, como el control postural (Huang & Mercer, 2001; Olivier et al., 2010; Villarrasa-Sapiña et al., 2019). Estos resultados difieren según la edad, la maduración cognitiva y motriz del sujeto y las patologías cognitivas o motrices que presenten, haciendo que en función de estos parámetros, el coste de la tarea cognitiva sobre la motora sea mayor o menor (Olivier et al., 2010; Schaefer et al., 2015).

Aunque hay estudios previos que han encontrado relación entre el control postural y la tarea cognitiva, y el coste de la realización de una *dual task*, las evidencias son escasas y poco consistentes (Ghai et al., 2017). Es por ello que este estudio tiene como objetivo principal, conocer cómo afecta al rendimiento motor del control postural y la propiocepción, la ejecución de una tarea cognitiva realizada de manera simultánea en los

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

diferentes grupos de edad. Como objetivo secundario se pretende analizar cómo afectan las diferentes posiciones en la realización de la prueba de control postural con y sin tarea cognitiva.

Tenemos la hipótesis que, el rendimiento de la tarea motriz (control postural y propiocepción), empeorará cuando se realice una tarea cognitiva simultáneamente y que habrá diferencias en el test de Romberg en función de la posición y condición realizada.

6.2. Material y Métodos

6.2.1. Diseño

Se utilizó un diseño transversal aleatorizado de medidas repetidas para determinar el efecto de la inclusión de una doble tarea cognitiva en el rendimiento del control motor.

6.2.2. Participantes

La muestra total de este estudio estuvo formada por 119 sujetos físicamente activos (resultados obtenidos del cuestionario IPAQ) (4611.03 ± 1620.97 METS) de entre 12-85 años, reclutados en diferentes centros educativos y deportivos, los cuales fueron posteriormente divididos por grupos de edad: Adolescentes (12-18); Jóvenes Adultos (19-35); Adultos (36-64); Adultos Mayores (65-85) (Tabla 4). Los criterios de exclusión marcados para la participación en el estudio fueron: i) sufrir alguna patología neurológica como Alzheimer o Parkinson, ii) estar incapacitado para realizar alguno de los test, iii) estar sometido a tratamientos farmacológicos que alterasen el normal funcionamiento de las pruebas y/o iv) estar sometido a una cirugía de reemplazo de articulación de miembro inferior (12 meses antes de los test).

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

Tabla 4. Características demográficas de los participantes.

Grupo	n	Edad (Años)	Peso (Kg)	IMC	Nivel de Actividad Física
Adolescentes	30	14.43±1.65	58.06±11.06	20.97±2.99	3320.89±1204.57
Jóvenes adultos	29	23.63±2.68	62.18±9.65	22.09±2.20	4218.95±1824.16
Adultos	30	45.4±6.67	68.5±24.56	23.92±3.66	6976.26±2898
Adultos mayores	30	73.53±5.94	65.75±7.11	25.75±2.42	3927.76±1569.32

Los datos se expresan como media (desviación estándar).

Antes de la recopilación de los datos, se utilizó el programa de software G * POWER (Düsseldorf FRG, Departamento de Psicología de la Universidad de Düsseldorf) para calcular el tamaño de muestra necesario para obtener una Potencia $(1-\beta) > 0,9$ con un tamaño del efecto de 0,35. El nivel de significancia se estableció en $p < 0.05$ para todos los análisis que se llevaron a cabo utilizando el software SPSS versión 24.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL, EE. UU.).

El estudio fue realizado en base a los estándares éticos marcados en la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el comité ético de la Universitat Ramon Llull. Todos los

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

sujetos que participaron en el estudio fueron informados del procedimiento de este y firmaron un consentimiento informado.

6.2.3. Procedimiento

Días antes de la realización del protocolo de medición, los investigadores se desplazaron a los centros en los que se encontraban los sujetos para recolectar datos sobre su historial médico. Esto incluyó datos relativos a las características físicas de los sujetos, así como la información relativa a los criterios de inclusión/exclusión. De acuerdo con van Melick et al., (2017), la pierna dominante se estableció a través del rendimiento autoinformado de los participantes sobre tareas de movilización bilateral de las piernas. Con el objetivo de que el orden de aplicación de las pruebas de propiocepción y control postural no influyese en los resultados, se estableció un orden aleatorio de administración de las pruebas individual para cada participante. Por último, cada sujeto rellenó el IPAQ para conocer sus niveles de actividad física autorreportada.

Propiocepción

Para evaluar la propiocepción se calculó el Error Absoluto de reposicionamiento articular a 45° (AEr45°) de la rodilla de la pierna dominante, con una aplicación móvil válida y fiable llamada Goniometer Pro, instalada en un *smartphone* Galaxy J7 (Samsung, Seoul, South Korea). Mediante esta aplicación, validada previamente (Melián-Ortiz et al., 2019), se puede utilizar el dispositivo móvil como un goniómetro digital (2.9, FiveFufFive co, Bloomfield, NJ, United States) proporcionando lecturas instantáneas, precisas y

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

repetibles del rango de movimiento (ROM), para medir la diferencia entre el ángulo de rodilla solicitado y desarrollado (Mourcou et al., 2016).

En primer lugar, se les colocó a los sujetos unas botas ortopédicas (Figura 16) en cada una de las piernas con el fin de anular la adaptación que realizan los dedos del pie y el tobillo, y centrarnos en el uso exclusivo de la rodilla. A continuación, los investigadores colocaron el *smartphone* alineado a la longitudinal del fémur, con la base del dispositivo alineado a la interlínea de la articulación femorotibial.



Figura 16. Botas ortopédicas usadas en el estudio.

Aunque en trabajos previos se hizo uso de botas de esquí para limitar el movimiento de los dedos del pie y tobillo (Noé et al., 2020), en este estudio se sustituyó la bota de esquí por la ortopédica, debido a la facilidad para poner y quitar la bota, además de para poder equiparar a todos los sujetos por igual en cuanto tallas, o sujeción, ya que las botas llevaban unas correas ajustables que se adaptaban a cualquier tamaño de pie, restringiendo así la flexión plantar y dorsiflexión.

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

Una vez los sujetos fueron equipados con el instrumental, cerraron los ojos y los investigadores los colocaron en una posición de 45° de flexión de la rodilla y les indicaron que mantuvieran dicha posición durante seis segundos. Posteriormente, se les pidió a los sujetos que recuperaran la posición inicial de bipedestación y que cuando estuviesen preparados, volvieran a flexionar las rodillas hasta llegar a la posición en la que creían que habían estado posicionados previamente por el investigador con los ojos cerrados. Se anotaron los ángulos de reposicionamiento en la rodilla dominante repitiendo la medición 3 veces y anotando la media de los resultados. Se registró el valor absoluto de la diferencia entre el ángulo solicitado (45°) y el realizado, para conocer la capacidad de reposicionamiento articular de los participantes, variable a través de la cual se cuantifica la propiocepción consciente (Mourcou et al., 2016).

Control Postural

El control postural se evaluó con una plataforma de fuerzas Kistler (Kistler Instruments AG, Winterthur, Switzerland) conectada a un ordenador portátil con el software Kistler MARS 3.0. Para la evaluación del control postural bipodal y unipodal, se pidió a los sujetos que se subiesen sobre la plataforma y realizasen el test de Romberg en 3 condiciones diferentes: Romberg bipodal ojos abiertos (ROA); Romberg bipodal ojos cerrados (ROC); y Romberg unipodal pierna dominante (RUD). Previamente a la realización del test, el sujeto recibió pautas tales como mantenerse erguido con la mirada fija en un punto y con los brazos extendidos lateralmente pegados al tronco. Se les pidió además colocar los pies con una apertura similar a la anchura de sus hombros, para la

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

prueba bipodal, y en el caso de las pruebas de control postural unipodal, se les pidió a los sujetos que realizaran una flexión de rodilla de 45°. Igual que en el test propioceptivo, los sujetos llevaron puesto unas botas ortopédicas en cada una de las piernas con el fin de equiparar las pruebas propioceptivas y de control postural, para así aislar la primera adaptación de los dedos del pie y el tobillo, y que la rodilla, junto con la cadera, fuesen el estabilizador principal. La duración de cada test fue de 30 segundos y se realizaron 3 repeticiones por cada condición.

Las variables de control postural obtenidas a partir de las señales del Centro de Presiones (CoP) adquiridas por la plataforma de fuerzas fueron: el área total y la velocidad media en dirección antero-posterior (VM_{AP}) y medio-lateral (VM_{ML}). Mientras que el área total es un indicador del rendimiento de la tarea de control postural, la VM_{AP} y VM_{ML} informan sobre la actividad neuromuscular utilizada para mantener el control postural (Paillard & Noé, 2015). En todas las variables estudiadas, los valores más bajos se asocian a un mejor rendimiento en la tarea.

Tanto las mediciones de variables relacionadas con la propiocepción como con el control postural, se realizaron en una sala libre de perturbaciones y distracciones. Por último, el orden de realización de los test fue aleatorizado para cada sujeto y se repitieron cada una de las condiciones 3 veces por 30 segundos cada una de ellas.

Control Cognitivo

Para llevar a cabo el desempeño de la tarea dual, los sujetos realizaron una tarea cognitiva mientras se evaluaba su control postural y propiocepción (Ghai, 2016). La tarea

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

cognitiva provino de la subescala denominada “evocación categorial en asociaciones”, que se encuentra dentro de la batería de subescalas del Test Barcelona Revisado (Peña-Casanova, 2005). La tarea consistió en mencionar el máximo número de palabras posibles durante 30 segundos pertenecientes a un mismo campo semántico. Los investigadores determinaron los campos semánticos con la finalidad de que fuesen conocidos por todos los sujetos independientemente de la edad. Los campos semánticos escogidos fueron los siguientes: **1. Animales; 2. Frutas; 3. Ciudades; 4. Partes del cuerpo; 5. Prendas de vestir; 6. Comidas; 7. Países; 8. Colores; 9. Nombres de mujer; 10. Nombres de hombres.** La puntuación obtenida dependía del número de palabras recordadas, anotando un punto por cada una de ellas. No se sumaron puntos a las palabras repetidas ni a los sinónimos (Peña-Casanova, 2005). Para cuantificar el número de palabras total que dijeron los sujetos, se les grabó y una vez terminada las pruebas, se contabilizaron el total de palabras mencionadas en cada repetición.

Cada prueba motora fue realizada tres veces, por lo que para cada una de las repeticiones los sujetos eran preguntados por campos semánticos distintos, para que no influyera el aprendizaje previo o la memoria a corto plazo en los resultados motores.

6.3. Análisis Estadístico

Se utilizó el software SPSS Versión 24.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EEUU) para el análisis estadístico.

Los datos descriptivos de las variables se presentan como media \pm DE. La distribución de las variables se comprobó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

Con la finalidad de comprobar las hipótesis planteadas, se aplicó un modelo mixto de análisis de la varianza (ANOVA) para evaluar los efectos de los dos factores intra-sujetos y un factor inter-sujetos: posición (ojos abiertos, ojos cerrados, unipodal) x condición (con tarea cognitiva, sin tarea cognitiva) x edad (Adolescentes, Jóvenes Adultos, Adulto, Adulto Mayor).

El seguimiento del contraste multivariado se realizó mediante contraste univariado, para determinar en qué variables dependientes (VM_{AP} , VM_{ML} y Área Total) influyeron los factores independientes (posición, condición y grupo de edad). Se utilizó Eta cuadrado parcial (η^2p) 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.

6.4. Resultados

El análisis multivariado mostró que existe una interacción significativa de las variables de control postural en los factores de posición x grupo ($F_{18,336} = 6.86$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.26$) y de posición x condición ($F_{6,110} = 3.79$, $p < 0.041$, $\eta^2p = 0.11$), en cambio no se encontraron interacciones significativas en condición x grupo y posición x condición x grupo. Al mismo tiempo se encontró un efecto principal significativo en el factor grupo ($F_{9,345} = 7.99$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.17$), el factor posición ($F_{6,110} = 184.58$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.45$) y el factor condición ($F_{3,113} = 26.75$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.41$). Las siguientes figuras 17,18,19

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

y 20 muestran las comparaciones por pares de las diferentes condiciones en el test de control postural.

La figura 17 muestra la comparación por pares del factor grupo en función del factor posición en las variables dependientes del control postural, observándose en ellas diferencias significativas intra grupos en función de la posición en la que se ha realizado la prueba. No se observan diferencias en las variables VM_{ML} y Área Total, entre ojos abiertos (OA) y ojos cerrados (OC), en los grupos de jóvenes adultos, adultos y adultos mayores.

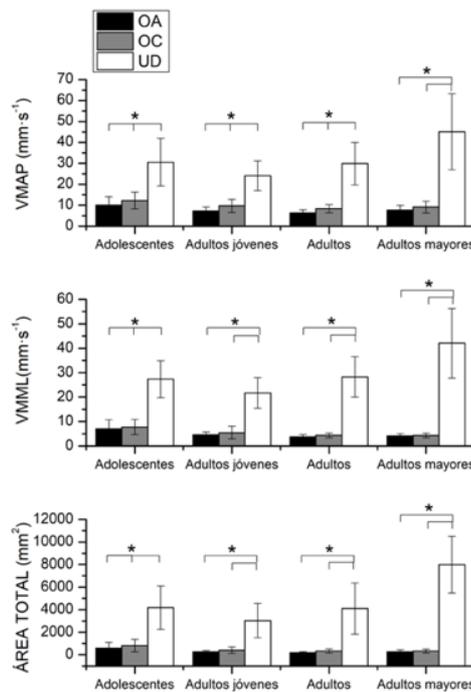


Figura 17. Comparaciones por pares del factor grupo en función del factor posición.

OA = Ojos abiertos; OC = Ojos cerrados; UD = Unipodal pierna dominante; VM_{AP} = velocidad media antero-posterior; VM_{ML} = velocidad media medio-lateral.

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

La figura 18 muestra la comparación por pares del factor posición en función del factor grupo en las variables dependientes del control postural, observándose diferencias entre el grupo de adolescentes y el resto de grupos en la posición de ojos abiertos y ojos cerrados, y una tendencia en unipodal de diferencias entre todos los grupos.

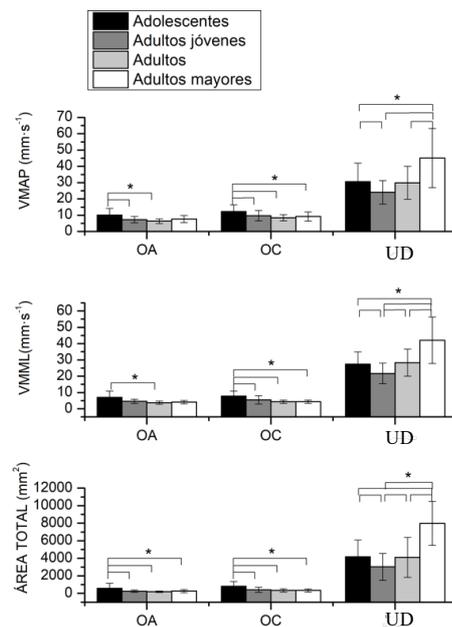


Figura 18. Comparaciones por pares del factor posición en función del factor grupo.

OA = Ojos abiertos; OC = Ojos cerrados; UD = Unipodal pierna dominante; VM_{AP} = velocidad media antero-posterior; VM_{ML} = velocidad media medio-lateral.

La figura 19 muestra la comparación por pares del factor condición en función del factor posición en las variables dependientes del control postural. Se observan diferencias significativas en todas las posiciones cuando se realiza la tarea cognitiva de forma

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

simultánea al control postural, sin embargo, en las variables VM_{ML} y Área total sin tarea cognitiva, no hay diferencias significativas entre OA y OC.

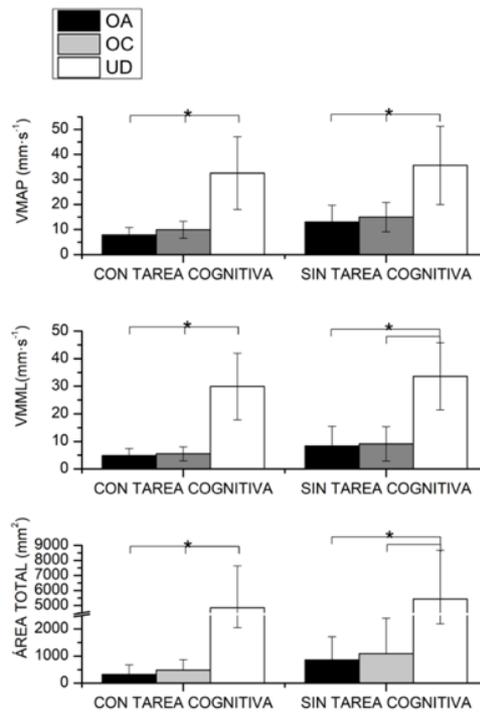


Figura 19. Comparaciones por pares del factor condición en función del factor posición.

OA = Ojos abiertos; OC = Ojos cerrados; UD = Unipodal pierna dominante; VM_{AP} = velocidad media antero-posterior; VM_{ML} = velocidad media medio-lateral.

En la figura 20 se muestran las comparaciones por pares del factor posición en función del factor condición en las variables dependientes del control postural, observándose diferencias significativas en todas las posiciones cuando se realiza el control postural con o sin tarea cognitiva.

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

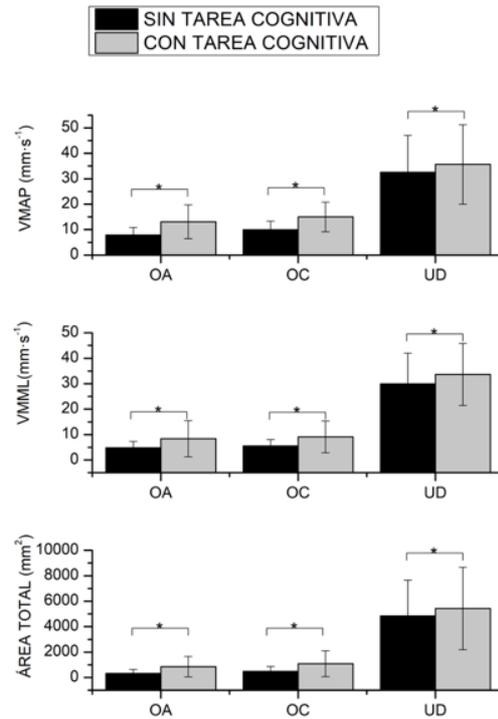


Figura 20. Comparaciones por pares del factor posición en función del factor condición.

OA = Ojos abiertos; OC = Ojos cerrados; UD = Unipodal pierna dominante; VM_{AP} = velocidad media antero-posterior; VM_{ML} = velocidad media medio-lateral.

El seguimiento de análisis multivariado de la variable propiocepción no mostró efecto de interacción entre condición x grupo ($F_{(3,15)} = 0.06$, $p=0.058$, $\eta^2p= 0.01$) ni efecto principal del grupo ($F_{(1,115)} = 0.07$, $p=0.91$, $\eta^2p= 0.06$). La Figura 21 muestra los valores de la variable propiocepción según los grupos de edad y la condición de realización (con tarea cognitiva o sin tarea cognitiva).

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

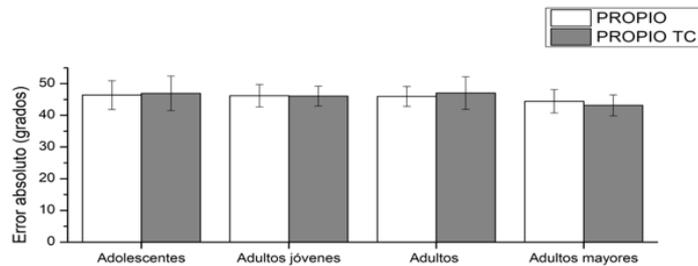


Figura 21. comparaciones por pares del factor grupo en función de la condición en las variables de propiocepción.

Propio = propiocepción; Propio TC = propiocepción con tarea cognitiva

6.5. Discusión

El objetivo principal de este estudio era conocer cómo afecta la ejecución simultánea de una tarea cognitiva en el rendimiento motor de las pruebas de control postural y propiocepción. El principal hallazgo muestra que la inclusión de una tarea cognitiva empeora significativamente la ejecución motriz de todas las pruebas de control postural, aunque no afecta significativamente en el rendimiento de la prueba de propiocepción.

Como objetivo secundario pretendíamos conocer cómo afecta la condición del cambio en la base de sustentación y la presencia o ausencia de visión en los resultados de los test de control postural sin tarea cognitiva. Uno de los hallazgos importantes del estudio ha sido conocer las diferencias existentes en el test de control postural según la posición realizada, dependiendo de si la prueba era OA, OC o UD. En este sentido, podemos afirmar, que los datos muestran diferencias significativas en función de la posición realizada, lo que

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

quiere decir que, dependiendo de los apoyos y la presencia o ausencia del *input* visual, los sujetos obtienen diferentes resultados. Con respecto a las diferencias en el rendimiento de los test del control postural en función de la posición realizada, nuestros resultados están en consonancia con estudios previos que afirman que, la dificultad de una tarea motriz o la variación de la base de sustentación puede hacer que los resultados varíen, incluso que cuanto mayor sea la dificultad de la tarea, mayor será el desplazamiento del CoP (Asseman et al., 2005; Caron et al., 2000), lo que explicaría el empeoramiento del rendimiento motriz en la prueba de control postural unipodal.

En cuanto a la participación de la visión en los test de control postural, se conoce que cuando se anula el *input* visual a un sujeto es necesaria la recepción de información de otras modalidades sensoriales que ayudarán al control postural (Goodman & Tremblay, 2018), siendo la propiocepción, la principal fuente de información aferente necesaria para el control postural de una articulación específica (Goodman & Tremblay, 2018). Aun así, hemos observado diferencias solo en el grupo de adolescentes entre la condición de ojos abiertos y ojos cerrados, pues en las variables de velocidad media medio lateral (VM_{ML}) y de Área Total de los grupos jóvenes adultos, adultos y adultos mayores no se muestran diferencias significativas. Esto puede ser debido, tal y como desarrolla en su estudio Viel et al., (2009), a que el SN se encuentra plenamente desarrollado en esos grupos de mayor edad, permitiéndoles crear adaptaciones y recursos diferentes a los de los adolescentes y haga que su base de sustentación se mantenga más estable.

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

En cuanto a las diferencias entre grupos, solo se han observado diferencias significativas en el grupo de adolescente con respecto al resto de grupos de edad cuando realizan el test de control postural con los ojos abiertos o cerrados. Una posible explicación a este resultado es que en ausencia de visión, los sujetos de edades tempranas tienden a cambiar su patrón de movimiento debido a que su SNC está en vías de desarrollo, ya que en estado de edades iniciales no se encuentra tan desarrollado como en edades adultas, provocando que el grupo de adolescentes utilice diferentes estrategias de compensación para suplir la falta de un correcto desarrollo muscular y una gestión eficiente de la integración sensorial para controlar la postura (de Sá et al., 2018; Olivier et al., 2010).

En el caso del test de control postural con apoyo unipodal, hemos podido observar diferencias entre todos los grupos, siendo el grupo de adultos mayores el que peores resultados obtiene con respecto al resto de grupos. Como hemos señalado anteriormente, la dificultad de la tarea hace que todos los grupos de edad experimenten una variación mayor de su centro de presiones (CoP) cuando se reduce la base de sustentación (Asseman et al., 2005). Al reducir la base de sustentación, hay un requerimiento superior de la información propioceptiva para alinear las articulaciones lo mejor posible sobre el punto de apoyo, haciendo que no solamente interfieran de manera exclusiva la visión, el tacto, o la información vestibular (Lackner & DiZio, 2005). Además, llegados a una determinada edad (65 años aproximadamente), los adultos mayores experimentan una fase regresiva de la función del SN que afecta tanto a la función motriz como a la cognitiva, en la que van perdiendo movilidad y consciencia de la posición articular, traduciéndose en una menor

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

capacidad para mantenerse erguidos cuando la base de sustentación se reduce (Goldstone et al., 2018; Priest et al., 2008) y dando así explicación a que el grupo de adultos mayores sean los que peores resultados obtienen en la prueba unipodal de esta investigación.

Como señalamos al inicio de la discusión, el objetivo principal de este estudio era conocer el coste que una tarea cognitiva simultánea tenía sobre una tarea motriz, y en base a los resultados obtenidos hemos podido ver que, cuando los test de control postural y propiocepción se realizaban con la inclusión de la tarea cognitiva simultánea, la afectación del rendimiento en los test de control postural y propioceptivos no fue en todos los casos significativa. Los resultados muestran que, cuando al sujeto se le añade una tarea simultánea, en este caso cognitiva, los valores VM y Área total empeoran durante el test de control postural en todas sus posiciones tanto bipodal como unipodal, sin embargo, cuando se analiza el rendimiento de los test propioceptivos, el AEr45° no sufre ninguna variación significativa.

Se ha podido observar, que hay una tendencia al empeoramiento lineal en los resultados de las 3 posiciones del test de control postural realizado con tarea cognitiva, pero que cuando se realizan las comparaciones por pares con los resultados sin tarea cognitiva, no existen diferencias significativas entre las variables VM_{ML} y Área total en la condición OA y OC sin tarea cognitiva. Son diversas las ideas que nos encontramos en la literatura para dar explicación al papel que juega la visión en las tareas duales. Hay autores que consideran que la visión, cuando se realiza más de una tarea a la vez, puede repercutir negativamente en los sujetos ya que hay más medios de distracción que harían que el sujeto

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

no se centrarse solo en la tarea motriz y cognitiva, si no también en lo que pasa a su alrededor (Beurskens & Bock, 2013), haciendo que sí se produzcan cambios cuando se realiza una doble tarea simultánea. Por otro lado, en función de la dificultad de la tarea motriz, la visión también tendrá un papel más o menos importante, pues se conoce que la información visual y su procesamiento se vuelven más cruciales cuando hay que evitar obstáculos o al caminar sobre diferentes superficies (Marigold & Patla, 2008; Patla & Greig, 2006). En nuestro caso, la prueba motriz sin visión era simple y estática, lo que puede haber influido en los resultados del control postural sin tarea cognitiva.

Algo que queremos apuntar es que, cuando nuestros sujetos realizaban el test de control postural con ojos abiertos, no enfocaban su mirada en un punto exacto, sino que tenían una inhibición indirecta de la entrada visual, teniendo la mirada perdida y disminuyendo así su umbral de activación del estímulo visual en la corteza sensitiva primaria. En esta línea, cuando realizaban la prueba con ojos cerrados, tenían una inhibición directa de la entrada visual, por lo tanto, al igual que pasaba en el test con ojos abiertos, los sujetos concentraban su atención en la tarea motriz o cognitiva, y el procesamiento visual no era tan influyente (Carrasco et al., 2004), hecho que puede haber interferido en los resultados obtenidos.

De acuerdo con nuestros hallazgos, estudios previos han observado que la inclusión de una tarea cognitiva simultánea hace que el sujeto desfocalice la atención y comprometa la elaboración de una respuesta motriz correcta (Huang & Mercer, 2001; Wulf et al., 2001). También se conoce que los resultados de las tareas duales difieren según la edad, la

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

maduración cognitiva y motriz del sujeto y las patologías cognitivas o motrices que se presenten, haciendo que en función de estos parámetros, el coste de la tarea cognitiva sobre la motriz sea mayor o menor (Olivier et al., 2010; Schaefer et al., 2015). En contraposición con estudios anteriores, en este estudio no se han obtenido resultados significativos en cuanto a diferencias entre grupos de edad con la presencia de tarea cognitiva. Esto puede deberse a varios factores, siendo el primero de ellos la dificultad de la tarea cognitiva, la cual fue la misma para todos los grupos de edad y tal y como explica el modelo teórico “de interacción no lineal en forma de U”, el control postural puede mejorar o empeorar según la demanda cognitiva de la tarea simultánea, es decir según su dificultad (Wollesen et al., 2020). En nuestro caso no ha habido modificación de la tarea cognitiva, pudiendo esto ser un condicionante en nuestros resultados, pues hay autores que hablan de la influencia que tiene la dificultad de la tarea cognitiva seleccionada en la tarea motriz, haciendo referencia a que cuanto más complicada sea la tarea cognitiva, más influencia va a tener sobre el control postural, afirmando que los recursos de atención se dividen o bien para poder superar las dos tareas, o bien porque son incapaces de gestionar el aumento de solicitudes atencionales (Palluel et al., 2010; Schaefer et al., 2008). A pesar de estas afirmaciones con respecto a la influencia de la tarea cognitiva sobre el control postural, hay estudios que confirman que en los sujetos mayores de 18 años, la dificultad de la tarea no tiene relevancia a la hora de mantener un control postural estable, pues llegados a una edad, se prioriza la ejecución de una correcta tarea postural para protegerse así de caídas o consecuencias derivadas de una mala ejecución motriz (Saxena et al., 2017).

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

Por otro lado, cabe señalar la familiarización que nuestros sujetos tenían con el desempeño de la doble tarea en las actividades de su día a día, tanto deportivas como físicas, pues nuestra muestra estaba compuesta por deportistas tanto profesionales como amateur, y sujetos que practicaban actividades físicas colectivas y laborales exigentes, lo que pudo provocar que entre ellos no surgieran diferencias porque la tarea cognitiva no supuso un reto comprometedor para su SN (Bayot et al., 2018).

En cuanto al test propioceptivo, tal y como hemos señalado con anterioridad, la inclusión de una tarea cognitiva no ha influido en los resultados, pues no se han encontrado diferencias significativas entre realizar los test con tarea dual o simple. La primera explicación que damos a estos resultados trata de la interiorización consciente de la posición, que provoca que los sujetos al estar con los ojos cerrados recibiendo el estímulo propioceptivo, consigan concentrarse para realizar el reposicionamiento articular sin que intervenga en exceso la tarea cognitiva realizada simultáneamente (Ansorge et al., 2007; Goodman & Tremblay, 2018). Por otro lado, hay una teoría llamada intercambio de capacidad, que confirma el motivo por el que no surgen cambios en el rendimiento de una tarea motriz cuando se realiza una tarea cognitiva secundaria. Esta teoría valora el tipo y la complejidad de la tarea cognitiva y explica que, bien sea por la naturaleza supuestamente menos desafiante de la tarea cognitiva, o por el uso de un mayor número de recursos de procesamiento (es decir, la extensa red de áreas cerebrales involucradas), los sujetos no experimentan cambios en su rendimiento (Patel et al., 2014). A modo de ejemplo señalaremos que los sujetos entrenados en deporte o actividades dirigidas como los que

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

componen nuestra muestra, tienden a estar más preparados para las exigencias motrices cuando se les introduce una tarea cognitiva (Glenn et al., 2015). No obstante, cabe destacar la necesidad de investigaciones que contemplen a la propiocepción como una variable de medida principal, pues actualmente se la considera como una cualidad intrínseca del control postural (Ghai et al., 2017), siendo implícita la participación de *inputs* propioceptivos y visuales para el control postural y de *inputs* cognitivos simultáneos para su mejora (Sprenger et al., 2017).

Actualmente, son pocos los investigadores que se centran en conocer cómo afecta una ejecución de tarea dual a lo largo del ciclo vital, ya que, o bien se centran en la marcha de niños de entre 4 y 17 años, pues se considera que a partir de los 8 años el SNC empieza a realizar adaptaciones y a los 17 es cuando modifican sus recursos atencionales (Olivier et al., 2010), o bien en adultos mayores de 65 años y en ver cómo afectan los déficits cognitivos o patologías como ictus, Alzheimer o demencia en el control postural (Bishnoi & Hernandez, 2020; Raffegeau et al., 2019). Es por la escasez de estudios que abarquen las edades intermedias de la vida, que en nuestro estudio hemos tratado de analizar de manera transversal diferentes etapas del ciclo vital, para así comparar el rendimiento en varios grupos de edad y dar cabida a cómo se comportan y las necesidades requeridas para ellos a la hora de implementar tareas duales en sus entrenamientos.

Hasta donde sabemos, siguen siendo muchos los estudios que tratan de explicar el funcionamiento del paradigma de tarea dual sin llegar a un consenso entre ellos. Se admite que es esencial saber coordinar tareas motrices y cognitivas simultáneamente por el

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

desempeño de estas en nuestro día a día (Herath et al., 2001), y se afirma que el entrenamiento con tareas duales, con diferentes dificultades tanto de tarea cognitiva como motora, mejoran el rendimiento de ambas cuando son analizadas, reduciendo el CoP cuando se realiza control postural y realizando un mayor control de la tarea cognitiva (Ghai et al., 2017). A pesar de ello, siguen haciendo falta más estudios en los que se incluyan tareas cognitivas con diferentes tipos de dificultad, e incluso comparar los resultados en población con diferentes niveles de actividad física y edades, para poder discernir cuáles son las necesidades para cada tipo poblacional. En base a ello, se podrán establecer los criterios de la inclusión de la doble tarea como aspecto facilitador del aprendizaje del SN en sujetos sanos, físicamente activos y deportistas, con el objetivo de mejorar la función cerebral con la práctica de actividad física con doble tarea diferenciada por grupos de edad.

6.6. Limitaciones y Líneas Futuras

Como hemos nombrado a lo largo de la discusión, la principal limitación de nuestro estudio ha sido el planteamiento de la tarea cognitiva, siendo la misma para todos los grupos de edad. Este aspecto puede haber ocasionado más dificultades al grupo de adolescentes en los campos semánticos más vinculados a las actividades de los adultos, quienes tienen mayor léxico relacionado con los campos semánticos solicitados (países, comida, ciudades, pueblos, frutas).

Además, tampoco hemos aumentado la dificultad de la tarea cognitiva, ni hemos realizado a los sujetos más de una tarea de dificultad creciente para comparar qué influencia tiene la dificultad de la tarea cognitiva en la respuesta motriz.

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

Otra limitación del estudio ha sido la situación de base de los participantes y la incapacidad de ajustar la exigencia de la tarea cognitiva al bagaje y experiencia de cada uno de los grupos de edad.

En base a las limitaciones, creemos necesario la comparación en el futuro de sujetos entrenados y sujetos sedentarios, así como diferentes tipos de exigencias en la tarea cognitiva para diferentes perfiles de edades, con el fin de conocer qué tipo de tareas simultáneas necesita cada tipo de población. Además, sería necesario implementar más de un tipo de tarea cognitiva de dificultad creciente para así saber cuál es la que compromete más a los sujetos.

Para terminar, son necesarios más estudios que evalúen el efecto de programas de entrenamiento de habilidades perceptivo motrices simultáneas a tareas cognitivas, para así favorecer el desarrollo de tareas duales en nuestro día a día.

6.7. Conclusiones

Podríamos concluir que la inclusión de una doble tarea tiene una repercusión en el desarrollo motriz del sujeto a nivel general, pero sin existir diferencias significativas entre los diferentes grupos analizados. Cuando se incluye una tarea cognitiva, el rendimiento en los test de control postural empeora indistintamente de la posición realizada, sin embargo los test propioceptivos no muestran cambios. Sin embargo, cuando se realizan las pruebas de control postural de manera aislada, el grupo de adolescentes y el de adultos mayores son los que peor puntuación obtienen. Por último, la reducción de la base de sustentación y la ausencia de visión interfieren negativamente en el rendimiento del control postural con y

Estudio 2:

Los efectos de la tarea dual en las habilidades motoras y cognitivas

sin tarea cognitiva. Futuros estudios deberían plantearse programas de entrenamiento con diferentes dificultades en las tareas motrices-cognitivas, que se adapten a distintos grupos de edad, para que sus participantes se beneficien de los efectos de la doble tarea motriz-cognitiva sobre el SN y de sus adaptaciones a las actividades de la vida cotidiana.

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

7. ESTUDIO 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado.

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

7.1 Introducción

El aumento de la esperanza de vida de la población actual, ha generado una preocupación en la ciencia por estudiar los efectos de diferentes modalidades de actividad física en la frenada del deterioro cognitivo de los adultos mayores, con el objetivo de mejorar su calidad de vida (Papathanasiou et al., 2019). Los expertos estiman una subida potencial de personas mayores de 60 años en un futuro próximo. Por ello, se necesita conocer la influencia de diferentes programas de ejercicios en el funcionamiento de su sistema nervioso (SN), así como en las cualidades perceptivo-motrices que dependen de él, pues se cree que el entrenamiento mejora su nivel de control motor y cognitivo y con ello el desarrollo eficiente de su vida cotidiana (Azadian et al., 2016).

En el día a día, con la consecución de las actividades diarias, el sistema nervioso central SNC tiene que procesar informaciones de índole motor y cognitivo de manera alternada o combinada. La frecuencia con la que se procesan dichas informaciones interfiere en el funcionamiento del cerebro que tiene que procesarlas. A ese trabajo de recepción de la información, de su procesamiento y de la elaboración de una respuesta adecuada se le denomina tarea (da Silva et al., 2020). Se conoce como tarea simple aquella en la que se prioriza una única tarea a realizar por el sujeto, ya bien sea motora o cognitiva (da Silva et al., 2020). Por otro lado, se entiende como tarea doble o “*dual task*”, al desempeño simultáneo de dos tareas que se pueden realizar de forma independiente, pueden ser medidas por separado y tienen objetivos distintos (McIsaac et al., 2015). La

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

dual task, es común en la vida diaria, especialmente en las actividades que implican el desempeño simultáneo de una función cognitiva y una tarea motora (McIsaac et al., 2015).

Por habilidad o tarea motora entendemos aquella que implica la elaboración de una respuesta en forma de contracción muscular, para por ejemplo, el control postural o responder a las aferencias propioceptivas, ambas controladas directa o indirectamente por un proceso cognitivo que puede ser consciente o inconsciente (Solana-Tramunt, 2011). La propiocepción, fue definida por primera vez como el estado funcional de las articulaciones y de los músculos que nos permiten ser conscientes de los movimientos o de la posición de una parte del cuerpo, o responder de manera inconsciente a la modificación involuntaria de la posición articular para mantener el control postural, el tono muscular o la coordinación muscular (Sherrington, 1906). Se recibe en aferencias procedentes de los receptores propioceptivos, ubicados en fascias, ligamentos, cápsulas articulares y fibras del vientre muscular y del tendón (órgano tendinoso de Golgi, usos musculares y receptores de Ruffini y de Pacini) (Solana-Tramunt, 2011). Por otro lado, el control postural es conocido como la capacidad para mantener el centro de masa corporal dentro de la base de sustentación (Ivanenko & Gurfinkel, 2018), se procesa a partir de la información recibida del aparato vestibular, del oído interno, la información visual, de presión, táctil y propioceptiva (Gaerlan, 2010). Tanto las aferencias que aportan información propioceptiva como las de equilibrio, llegan al tálamo, que permitirá o retrasará la entrada de estas informaciones a la corteza sensitiva primaria en el lóbulo parietal (Goldstone et al., 2018).

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

Por otro lado, la habilidad o tarea cognitiva se define como las destrezas y procesos del cerebro que nos permiten recibir, procesar y elaborar información para la realización de una tarea (Reed, 2012), que incluyen la atención, comprensión, elaboración y memorización de dicha información (Barca-Enriquez et al., 2015). La información, es captada a partir de los estímulos que nos proporcionan los sentidos y es enviada por el tálamo, para ser procesada y regulada por el cerebelo, en el cual las operaciones corticales son las encargadas de transformar, reducir, elaborar, almacenar, recuperar y utilizar las entradas sensoriales recibidas (Neisser, 2014).

Es durante el envejecimiento cuando se produce una disminución de las capacidades motrices y cognitivas mencionadas con anterioridad, ya sea por patologías previas como Alzheimer, o por el tipo de vida y de actividad física que se ha llevado a cabo a lo largo de la vida del sujeto (Liu & Lachman, 2020). Es por ello que la promoción de las actividades sociales de la vida cotidiana, pueden influir en la mejora de las habilidades motrices y cognitivas, puesto que la realización de tareas simples o dobles tienen un efecto sobre ellas (da Silva et al., 2020). Estudios recientes constatan que un mayor nivel educativo y ocupacional tiene una relación directa con un alto grado de Reserva Cognitiva (RC) (Liu & Lachman, 2020). La RC se define como la capacidad que desarrolla el cerebro para tolerar de manera más eficiente los efectos de un mayor número de neuropatologías, asociadas a la demencia, antes de que se manifieste la sintomatología clínicamente (Stern, 2009). A su vez, que un sujeto tenga una mayor RC, no solo enlentecerá la aparición de

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

patologías cognitivas, si no que implica que se creen un mayor número de neuronas y densidad sináptica, manifestándose en un uso más eficaz de las redes neuronales, que beneficiará a la estabilidad de un cerebro sano y a su vez que éste, utilice las adaptaciones alternativas en las tareas intelectuales a lo largo de nuestra vida, beneficiando esto a un correcto funcionamiento cerebral (Rodríguez-Álvarez & Sánchez-Rodríguez, 2004). La RC se desarrolla de manera innata, por el trabajo cerebral desarrollado con las experiencias vividas, tales como la educación, ocupación laboral, lugar de residencia o deportes practicados entre otros (Calzada et al., 2018; Deary et al., 2013; Gleizer, 2018). Es por ello que el hecho de tener una RC alta, está asociado a un nivel educativo mayor, que a su vez implica un mayor nivel de actividad física y cognitiva y esto aporta ciertas ventajas en la edad adulta, aumentando el acceso a recursos y oportunidades para participar tanto en actividades físicas como intelectuales, mejorando el funcionamiento motor-cognitivo (Liu & Lachman, 2020; Wilson et al., 2009).

Uno de los objetivos principales por parte de los investigadores en la población de adultos mayores es la reducción del riesgo de caídas, pues llegados a una edad tienen mayor riesgo a sufrir fracturas óseas que les limitarían la funcionalidad en la vida cotidiana (Trombetti et al., 2011; Varela-Vásquez et al., 2020). Se ha demostrado la importancia del trabajo del control postural y la propiocepción conjunto para reducir el riesgo de caídas en personas mayores (Fernández et al., 2018; Velastegui-Yunda, 2018), reduciendo el riesgo lesional de los miembros inferiores (Riva et al., 2016). De hecho, en las propuestas de entrenamiento en adultos mayores, se encuentran ejercicios de inestabilidad para conseguir

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

una menor tasa lesional y reducir el riesgo de caídas (García-Flores et al., 2016; Hernández et al., 2018; Maze, 2017), además de mejorar el equilibrio y la marcha (Falbo et al., 2016).

Dada la vinculación entre las tareas físicas y las cognitivas, la realización de ejercicio físico de manera simultánea al ejercicio cognitivo, hacen que mejoren los parámetros a nivel motor y cognitivo, haciendo que en la población de adulto mayor se pueda retardar la aparición de enfermedades como el Alzheimer o la demencia y retrasar de manera temporal sus sintomatología (Andrade et al., 2013; Coelho et al., 2013; Pérez et al., 2017). Los antecedentes en el entrenamiento motor-cognitivo detallan que, un entrenamiento dual debe tener una duración de entre 8 y 12 semanas, con una continuidad de entre 2 a 3 sesiones por semana, con una duración entre 15 y 45 minutos para que tenga un efecto positivo en los sujetos que participan en el entrenamiento (Ghai et al., 2017). Dichos entrenamientos están basados en ejercicios de desequilibrios y marcha, combinados con ejercicios cognitivos como el conteo de números, memorización de palabras o prueba del Stroop, y han demostrado mejorar el rendimiento de los test de control motor y cognitivos (Andrade et al., 2013). Esta mejora correlaciona positivamente con el correcto funcionamiento del sistema motriz y cognitivo, retrasando su deterioro y mejorando las funciones ejecutivas básica de la vida cotidiana (Falbo et al., 2016; Hiyamizu et al., 2012; Shin & An, 2014).

Actualmente son muchos los autores que se interesan por la población del adulto mayor, y por cómo los entrenamientos pueden mejorar su calidad de vida. Una revisión sistemática reciente, concluye que, el ejercicio de tarea dual frente a la tarea simple puede

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

reducir el riesgo de caídas en adultos sanos (Bayot et al., 2020). Los estudios encontrados hasta la fecha, detallan entrenamientos tipo para prevenir caídas en adulto mayor y la mayoría de ellos están centrados en personas con patologías tales como Parkinson, Alzheimer, demencia o problemas articulares de rodilla que les provocan caídas más fácilmente (Bayot et al., 2020; Ghai et al., 2017).

A pesar de ello, sigue siendo escasa la información y estudios a cerca de la inclusión de la doble tarea motor-cognitiva en sesiones de entrenamiento centradas en la mejora de la calidad de vida de adultos mayores sanos y físicamente activos, que no se centren única y exclusivamente en caídas o deterioros cognitivos. Por lo tanto, este estudio pretende evaluar el efecto de un programa de entrenamiento de ocho semanas en adultos mayores sanos, en la mejora del control postural y la propiocepción de la rodilla, con la inclusión de una tarea cognitiva realizada de manea simultánea.

Tenemos la hipótesis que, la inclusión de la doble tarea motor-cognitiva en las sesiones de entrenamiento, mejorará el rendimiento en los test de control postural y propiocepción realizados con tarea cognitiva simultánea después de ocho semanas con respecto al grupo control.

7.2. Material y Métodos

7.2.1. Diseño

Se utilizó un diseño transversal aleatorizado de medidas pre y post intervención, para determinar el efecto de la inclusión de música cantada desconocida en el

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

entrenamiento del equilibrio y propiocepción en comparación con el entrenamiento sin la presencia de música cantada desconocida.

7.2.2. Participantes

El estudio contó con la participación de 20 adultos mayores físicamente activos (3912.52 ± 1738.57 METS), de edades comprendidas entre 65-85 años. Fueron excluidos del estudio los participantes en caso de: i) sufrir de una afección neurológica como la enfermedad de Alzheimer o Parkinson, ii) no poder realizar una o más de las partes de la prueba, iii) estar sometidos a tratamientos farmacológicos que alteraran el normal funcionamiento del sistema nervioso y/o iv) haberse sometido a una cirugía de reemplazo de la articulación de miembro inferior reciente (12 meses antes de los test).

El estudio se llevó a cabo de acuerdo con los estándares éticos establecidos de acuerdo a la última versión de la Declaración de Helsinki, y fue aprobado por el comité ético de la Universidad Ramón Llull. Todos los participantes fueron informados de forma oral y por escrito sobre los procedimientos del estudio y dieron su consentimiento para participar en el estudio.

7.2.3. Procedimiento

Una semana antes de iniciar los test de evaluación inicial, los investigadores visitaron la institución de la que se había reclutado a los participantes con el fin de recolectar los datos demográficos, de actividad física, RC y del historial clínico necesarios para la consecución del estudio. Esto incluyó información para determinar si los individuos cumplían con los criterios de inclusión en el estudio. Siguiendo a van Melick et al., (2017),

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

el dominio de las extremidades inferiores de los participantes se estableció mediante el autoinforme sobre su desempeño dentro de las tareas de movimiento bilateral que involucran las piernas. Para definir el nivel de actividad física muestral, cada participante completó el cuestionario internacional de actividad física (IPAQ) (Anexo 1). Además, los sujetos respondieron un cuestionario validado de la escala de RC que constaba de 24 preguntas relacionadas con su estilo de vida (León et al., 2014) (Anexo 2).

Una vez realizada la recolección de datos, se pasó a administrar en un orden aleatorio las pruebas motor-cognitivas (*dual task*) a los sujetos, para asegurar así que el orden no afectara a los resultados. Una vez finalizadas las pruebas, se randomizó aleatoriamente a los integrantes de la muestra para formar los grupos experimental (GE) y control (GC). Tras las 8 semanas de intervención, los sujetos volvieron a ser medidos en las pruebas de control postural y propiocepción con tarea cognitiva de manera simultánea.

Propiocepción

Para evaluar la propiocepción, se calculó el Error Absoluto de reposicionamiento articular a 45° (AEr45°) de la rodilla de la pierna dominante con una aplicación móvil válida y fiable llamada Goniometer Pro, instalada en un *smartphone* Galaxy J7 (Samsung, Seoul, South Korea). Mediante esta aplicación, validada previamente (Melián-Ortiz et al., 2019), se puede utilizar el dispositivo móvil como un goniómetro digital (2.9, FiveFufFive co, Bloomfield, NJ, United States) proporcionando lecturas instantáneas, precisas y repetibles del rango de movimiento (ROM), para medir la diferencia entre el ángulo de rodilla solicitado y desarrollado (Mourcou et al., 2016).

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

En primer lugar, se les colocó a los sujetos unas botas ortopédicas (Figura 22) en cada una de las piernas con el fin de anular la adaptación que realizan los dedos del pie y el tobillo, y centrarnos en el uso exclusivo de la rodilla. A continuación, los investigadores colocaron el *smartphone* alineado a la longitudinal del fémur, con la base del dispositivo alineado a la interlínea de la articulación femorotibial.



Figura 22. Botas ortopédicas usadas en el estudio.

Aunque en trabajos previos se hizo uso de botas de esquí para limitar el movimiento de los dedos del pie y tobillo (Noé et al., 2020), en este estudio se sustituyó la bota de esquí por la ortopédica, debido a la facilidad para poner y quitar la bota, además de para poder equiparar a todos los sujetos por igual en cuanto tallas o sujeción, ya que las botas llevaban unas correas ajustables que se adaptaban a cualquier tamaño de pie, restringiendo así la flexión plantar y dorsiflexión.

Una vez los sujetos fueron equipados con el instrumental, cerraron los ojos y los investigadores los colocaron en una posición de 45° de flexión de la rodilla y les indicaron

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

que mantuvieran dicha posición durante seis segundos. Posteriormente, se les pidió a los sujetos que recuperaran la posición inicial de bipedestación y que cuando estuviesen preparados, volviesen a flexionar las rodillas hasta llegar a la posición en la que creían que habían estado posicionados previamente por el investigador con los ojos cerrados. Se anotaron los ángulos de reposicionamiento en la rodilla dominante repitiendo la medición 3 veces y anotando la media de los resultados. Se registró el valor absoluto de la diferencia entre el ángulo solicitado (45°) y el realizado, para conocer la capacidad de reposicionamiento articular de los participantes, variable a través de la cual se cuantifica la propiocepción consciente (Mourcou et al., 2016).

Control Postural

El control postural se evaluó con una plataforma de fuerzas Kistler (Kistler Instruments AG, Winterthur, Switzerland) conectada a un ordenador portátil con el software Kistler MARS 3.0. Para la evaluación del control postural bipodal y unipodal, se pidió a los sujetos que se subiesen sobre la plataforma y realizasen el test de Romberg en 3 condiciones diferentes: Romberg bipodal ojos abiertos (ROA); Romberg bipodal ojos cerrados (ROC); y Romberg unipodal pierna dominante (RUD). Previamente a la realización del test, el sujeto recibió pautas tales como mantenerse erguido con la mirada fija en un punto y con los brazos extendidos lateralmente pegados al tronco. Se les pidió además colocar los pies con una apertura similar a la anchura de sus hombros, para la prueba bipodal, y en el caso de las pruebas de control postural unipodal se les pidió a los sujetos que realizaran una flexión de rodilla de 45°. Igual que en el test propioceptivo, los

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

sujetos llevaron puesto unas botas ortopédicas en cada una de las piernas con el fin de equiparar las pruebas propioceptivas y de control postural, para así aislar la primera adaptación de los dedos del pie y el tobillo, y que la rodilla, junto con la cadera, fuesen el estabilizador principal. La duración de cada test fue de 30 segundos y se realizaron 3 repeticiones por cada condición.

Las variables de control postural obtenidas a partir de las señales del Centro de Presiones (CoP) adquiridas por la plataforma de fuerzas fueron, el área total y la velocidad media en dirección antero-posterior (VM_{AP}) y medio-lateral (VM_{ML}). Mientras que el área total es un indicador del rendimiento de la tarea de control postural, la VM_{AP} y VM_{ML} informan sobre la actividad neuromuscular utilizada para mantener el control postural (Paillard & Noé, 2015). En todas las variables estudiadas los valores más bajos se asocian a un mejor rendimiento en la tarea.

Tanto las mediciones de variables relacionadas con la propiocepción, como con el control postural, se realizaron en una sala libre de perturbaciones y distracciones. Por último, el orden de realización de los test fue aleatorizado para cada sujeto, y se repitieron cada una de las condiciones 3 veces por 30 segundos cada una de ellas.

Control Cognitivo

Para llevar a cabo el desempeño de la tarea dual, los sujetos realizaron una tarea cognitiva mientras se evaluaba su control postural y propiocepción (Ghai, 2016). La tarea cognitiva provino de la subescala denominada “evocación categorial en asociaciones”, que se encuentra dentro de la batería de subescalas del Test Barcelona Revisado (Peña-

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

Casanova, 2005). La tarea consistió en mencionar el máximo número de palabras posibles durante 30 segundos pertenecientes a un mismo campo semántico. Los investigadores determinaron los campos semánticos con la finalidad de que fuesen conocidos por todos los sujetos independientemente de la edad. Los campos semánticos escogidos fueron los siguientes: **1. Animales; 2. Frutas; 3. Ciudades; 4. Partes del cuerpo; 5. Prendas de vestir; 6. Comidas; 7. Países; 8. Colores; 9. Nombres de mujer; 10. Nombres de hombres.** La puntuación obtenida dependía del número de palabras recordadas, anotando un punto por cada una de ellas. No se sumaron puntos a las palabras repetidas ni a los sinónimos (Peña-Casanova, 2005). Para cuantificar el número de palabras total que dijeron los sujetos, se les grabó y una vez terminada las pruebas, se contabilizaron el total de palabras mencionadas en cada repetición.

Cada prueba motora fue realizada tres veces, por lo que para cada una de las repeticiones los sujetos eran preguntados por campos semánticos distintos, para que no influyera el aprendizaje previo o la memoria a corto plazo en los resultados motores.

Protocolo de intervención

Una vez finalizada las mediciones pre intervención, se llevó a cabo un protocolo de entrenamiento de 8 semanas de duración. Los sujetos, como se ha comentado con anterioridad, fueron divididos en dos grupos, control y experimental indistintamente de manera aleatoria.

Se realizaron 2 sesiones por semana en días diferentes para cada uno de los grupos, con el fin de no crear interferencias ni aprendizajes en los sujetos. La duración de las

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

sesiones fue de treinta minutos y se dividió en calentamiento de cinco minutos, parte principal de veinte minutos y vuelta a la calma de cinco minutos. Durante la parte principal, se controló que la ejecución técnica de los ejercicios se realizara correctamente para así evitar lesiones y favorecer la mejora del control postural y la propiocepción de los participantes.

La parte principal constó de ejercicios de toma de movilidad general para entrar en calor. A continuación se enseñó una coreografía sencilla dividida en cinco compases de treinta y dos tiempos, divididos en cuatro partes de ocho movimientos cada uno. La vuelta a la calma constó de ejercicios de respiración y estiramientos básicos.

La diferencia entre el protocolo de entrenamientos del GE y el GC fue la inclusión de música cantada desconocida en las sesiones del GE, mientras que el GC realizó los mismos ejercicios sin acompañamiento musical. Se pidió al GE que hicieran el esfuerzo mental de memorizar y aprenderse las canciones que iban sonando en las primeras sesiones, para luego intentar cantarlas a la misma vez que hacían los ejercicios motores. Sólo se realizaron dos coreografías de ejercicios con la misma música, una para las primeras 4 semanas y la otra para las restantes, con el fin de que el sujeto se familiarizase con las letras. Mientras tanto, el grupo control sólo realizó los ejercicios motores sin música, con las instrucciones de la persona que llevaba a cabo la sesión.

Se diseñaron 4 sesiones diferentes (Anexo 3), que se repitieron durante 2 semanas completas, para que los participantes aprendieran a realizar bien la técnica de los ejercicios y poder llevarlos a cabo de una manera correcta. Se propuso una progresión en la dificultad

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

de los ejercicios, que empezó con ejercicios individuales de equilibrio y propiocepción en la primera sesión, en parejas en la segunda, tríos para la tercera y en grupos de cuatro para la cuarta y hasta la finalización del protocolo. Los ejercicios propuestos incluyeron caminatas simples y complejas, desplazamientos laterales, adelante y atrás, equilibrios simples con ambas piernas, y más complejos cuando se realizan en compañía de compañeros y flexiones de las rodillas a no más de 45° para tener relación con los test de propiocepción. Por ejemplo, a la hora de realizar una sentadilla, se proponían disequilibrios con parejas o tríos para comprometer la estabilidad de los participantes, o bailes como el twist o la conga para además de trabajar el equilibrio, promover la sociabilización y la diversión de los participantes.

Una vez finalizada la intervención, los sujetos volvían a realizar las mediciones de control postural y propiocepción, con tarea cognitiva simultáneamente (*dual task*), para conocer el efecto de la intervención.

7.3. Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software SPSS Versión 21 (SPSS Inc., Chicago, IL, EEUU). Previamente se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para analizar la distribución de las variables. Todas las variables mostraron una distribución normal y con la finalidad de comprobar las hipótesis planteadas, se aplicó un modelo mixto de análisis de la varianza (ANOVA) para evaluar los efectos de un factor intra-sujetos (tiempo: pre y post) y un factor inter-sujetos (grupo: control y experimental) en cada una

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

de las condiciones de ejecución de control postural (OA, OC y UD), propiocepción y tarea cognitiva.

Los datos descriptivos de las variables se presentan como media \pm DE. El seguimiento de los contrastes multivariados se realizó mediante contrastes univariados, cuando se encontraron 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.

Finalmente se calcularon las variaciones entre los resultados de todas las variables en las condiciones pre y post, con la finalidad de observar si existe algún tipo de relación con las variables de RC y el volumen de actividad física desarrollada por los participantes. Para ello se calculó el coeficiente de correlación de Pearson y se mostraron los resultados en la tabla (5), interpretándose a partir de la propuesta de Hopkins et al., (2009), siguiendo los siguientes umbrales: $< 0,1$ trivial, de $0,1$ a $0,3$ pequeño, de $0,3$ a $0,5$ moderado, de $0,5$ a $0,7$ grande, de $0,7$ a $0,9$ muy grande y de $0,9$ a $1,0$ casi perfecto.

7.4. Resultados

Los contrastes multivariados en la condición ROA, mostraron un efecto principal significativo del factor tiempo, mostrando mejores resultados en los dos grupos (control y experimental) en las mediciones post intervención ($F_{4,15} = 11.87$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.76$), en cambio no se encontró un efecto significativo de interacción grupo x tiempo, por lo que el programa de intervención no tuvo ningún efecto en función del grupo. El análisis

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

univariado informó que el efecto tiempo fue significativo en todas las variables de control postural en esta condición, pero no fue significativo en los resultados de la tarea cognitiva.

Las diferencias entre pares se pueden observar en la figura 23.

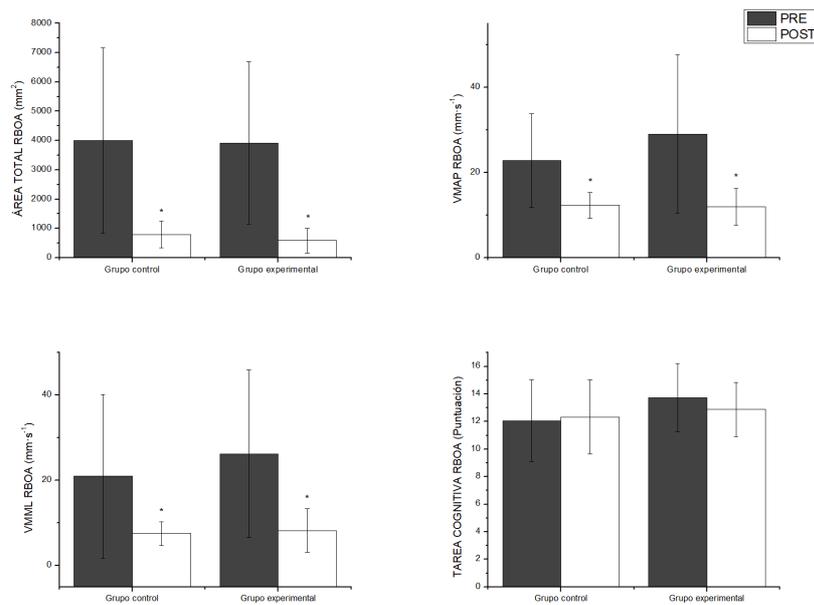


Figura 23. Comparaciones por pares del factor grupo en función del tiempo en las variables de control postural ojos abiertos.

ROA = Romberg bipodal ojos abiertos; VM_{AP} = velocidad media antero-posterior; VM_{ML} = velocidad media medio-lateral.

Los análisis multivariados en la condición ROC, mostraron un efecto principal significativo del factor tiempo, mostrando mejores resultados en los dos grupos (control y experimental) en las mediciones post intervención ($F_{4,15} = 11.62$, $p < 0.001$, $\eta^2 p = 0.75$), igual que en la condición anterior, no se encontró un efecto significativo de interacción grupo x tiempo, por lo que el programa de intervención no tuvo ningún efecto en función del grupo. El análisis univariado informó que el efecto tiempo fue significativo en todas

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

las variables de control postural en esta condición pero no fue significativo en los resultados de la tarea cognitiva. Las diferencias entre pares se pueden observar en la figura 24.

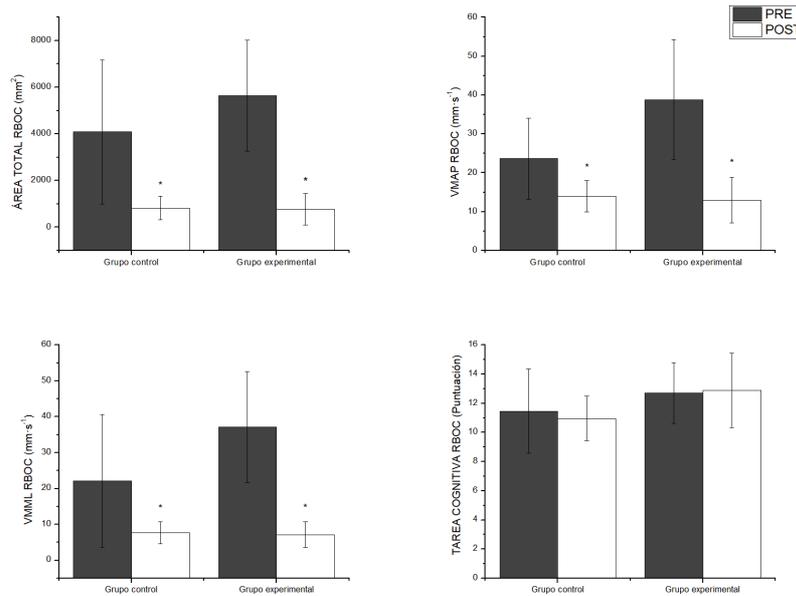


Figura 24. Comparaciones por pares del factor grupo en función del tiempo en las variables de control postural ojos cerrados.

ROC = Romberg bipodal ojos cerrados; VM AP = velocidad media antero-posterior; VM ML = velocidad media medio-lateral.

Los análisis multivariados efectuados en la condición RUD, no mostraron efecto principal significativo del factor tiempo ni interacción significativa de tiempo x grupo, las diferencias entre pares se pueden observar en la figura 25.

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

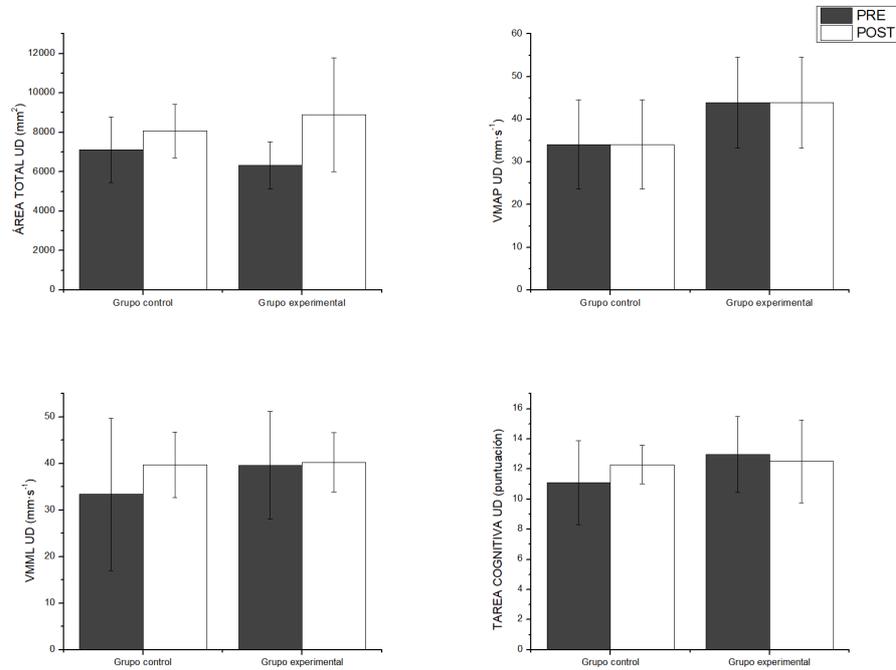


Figura 25. Comparaciones por pares del factor grupo en función del tiempo en las variables de control postural unipodal pierna dominante.

UD = unipodal pierna dominante; VM_{AP} = velocidad media antero-posterior; VM_{ML} = velocidad media medio-lateral.

En cambio, sí que se encontró un efecto principal significativo del factor tiempo en los resultados de la propiocepción ($F_{1,18} = 11.53$, $p < 0.003$, $\eta^2 p = 0.39$), igualmente que en las condiciones de control postural anteriores, no hubo interacción significativa entre grupo x tiempo. La variable de tarea cognitiva realizada durante las pruebas de propiocepción, no mostró efecto principal significativo del factor tiempo ni interacción significativa de

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

tiempo x grupo, las diferencias entre pares de las variables de propiocepción se pueden observar en la figura 26.

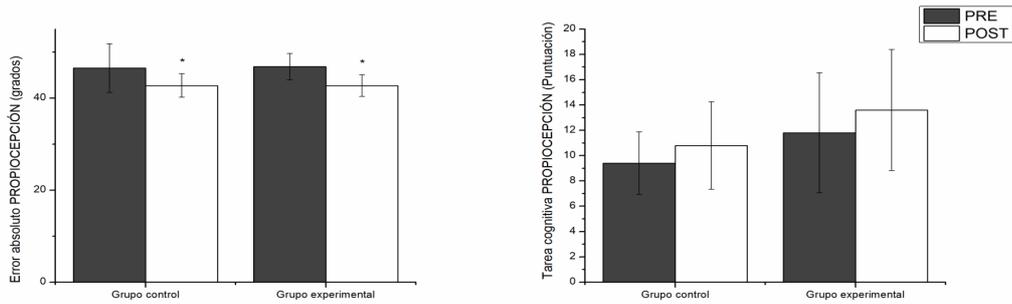


Figura 26. Comparaciones por pares del factor grupo en función del tiempo en la variable de propiocepción.

El cálculo de correlaciones entre la RC y el volumen de actividad física, con las variables de control postural y propiocepción mostrados en la tabla 5, se hizo en base a un cálculo de nuevas variables correspondientes a la resta de los datos obtenidos en el pre menos los resultados obtenidos en el post. Esta variación muestra la mayoría de coeficientes triviales o pequeños, tan solo observándose relaciones moderadas en la diferencia pre-post de la VM_{AP} en el test de Romberg con ojos cerrados; en el test de Romberg unipodal con tarea cognitiva en relación con los mets; y en la diferencia pre-post de la propiocepción con TC en relación con la reserva cognitiva.

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

Tabla 5. Coeficiente de correlación de Pearson's de la variable Reserva Cognitiva y la variable volumen de actividad física (METS), con las variables de control postural y propiocepción

	Mets	ReservaCognitiva
ReservaCognitiva	0.142	-
Dif_ areatotal_ROA_TC	-0.138	0.009
Dif_ VM _{AP} _ROA_TC	0.032	0.168
Dif_ VM _{ML} _ROA_TC	0.017	0.237
Dif_ tareacognitiva_ROA	-0.048	0.071
Dif_ areatotal_ROC_TC	0.346	-0.094
Dif_ VM _{AP} _ROC_TC	0.475	0.144
Dif_ VM _{ML} _ROC_TC	0.398	0.267
Dif_ tareacognitiva_ROC	-0.039	0.308
Dif_ areatotal_UD_TC	0.220	-0.160
Dif_ VM _{AP} _UD_TC	0.527	-0.063
Dif_ VM _{ML} _UD_TC	0.363	0.467
Dif_ tareacognitiva_UD	0.116	0.400
Dif_ Propio_TC	-0.310	-0.459
Dif_ tareacognitiva_Propio	0.049	-0.304

Dif = diferencia; ROA = Romberg bipodal ojos abiertos; ROC = Romberg bipodal ojos cerrados; UD = unipodal dominante; TC = tarea cognitiva; VM_{AP} = velocidad media antero-posterior; VM_{ML} = velocidad media medio-lateral.

7.5. Discusión

El presente estudio pretendía evaluar el efecto de un programa de entrenamiento de ocho semanas en adultos mayores sanos, en la mejora del control postural y la

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

propiocepción de la rodilla, con la inclusión de una tarea cognitiva realizada de manera simultánea.

El principal hallazgo muestra que un programa de entrenamiento físico, destinado a la mejora de habilidades motrices, tiene repercusión positiva en los resultados de las pruebas de propiocepción y control postural después de 8 semanas de entrenamiento. Es decir, los test de propiocepción y control postural con ojos abiertos y cerrados, con tarea cognitiva simultánea, muestran mejores resultados tanto en el GE (que realizó la tarea motriz con música cantada), como en el GC (que realizó la misma tarea motriz sin acompañamiento musical). A la luz de los resultados, parece que la intervención con la inclusión de una tarea cognitiva como es la música cantada desconocida, no ha supuesto un reto de procesamiento cognitivo mayor al del grupo control, que únicamente contó con el refuerzo verbal de la investigadora durante la ejecución de los mismos ejercicios. Una posible explicación a la ausencia de diferencias entre los grupos, experimental y control, puede darse por el motivo de que en ausencia de la música, la investigadora tratara de mejorar el nivel motivacional de los participantes del grupo control. El hecho de motivar a los integrantes del grupo control pudo haber interferido positivamente en su nivel atencional. Es bien conocido que el aumento de la capacidad atencional de los sujetos mejora el registro consciente de las cualidades perceptivo motrices, entre ellas la propiocepción y el control postural (Green & Bavelier, 2008; Mang et al., 2013). La intensidad motivacional de la investigadora puede haber sido un factor contaminante del estudio, puesto que podría haber servido de estímulo cognitivo para el GC y ocasionar una

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

ausencia de diferencias entre la tarea cognitiva del GE con respecto al GC, de modo que ambos grupos hayan entrenado indirectamente bajo el mismo paradigma de tarea dual motriz-cognitiva. En este sentido, estos resultados guardarían consonancia con los estudios que demuestran que los entrenamientos duales juegan un papel importante en la transferencia de la habilidad trabajada, por lo que el entrenamiento específico de las habilidades motrices-cognitivas puede favorecer los resultados positivos en los test analizados con posterioridad, además de tener una durabilidad en el tiempo (Lemke et al., 2019; Varela-Vásquez et al., 2020).

Otra posible explicación al principal hallazgo podría estar relacionada con las actividades deportivas que los participantes realizaban previamente al estudio. Los integrantes de ambos grupos realizaban con una frecuencia de 2 a 3 sesiones semanales, actividades dirigidas coreografiadas con acompañamiento musical en sus programas de entrenamientos, lo que ha podido interferir en los resultados, haciendo que la tarea cognitiva propuesta como música cantada no conocida no haya supuesto ningún reto adicional al que estaban acostumbrados, aunque fuera una actividad diferente a la habitual (Bayot et al., 2018).

En cuanto a las características del entrenamiento propuesto, es posible que el hecho de utilizar un foco atencional fijo para la tarea motriz y tener la tarea cognitiva como secundaria, haya influido en que los sujetos hayan mejorado los resultados de los test motor-cognitivos, pero no haya habido diferencias entre los grupos con la utilización o no de tarea cognitiva. En consonancia a lo mencionado anteriormente, se considera esencial

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

para la efectividad del entrenamiento dual, la priorización variable de los parámetros a entrenar, es decir de las tareas motrices y cognitivas desarrolladas en el entreno (Lemke et al., 2019), pues se ha demostrado que para que el entrenamiento dual sea eficaz en las variables trabajadas, se necesita dar instrucciones variables de prioridad a las habilidades entrenadas, es decir, ir cambiando el foco atencional de la tarea motriz y cognitiva secuencialmente (Kramer et al., 1995; Kumar, 2014).

En cuanto a la música como tarea cognitiva secundaria, son pocos los estudios que la implementen en sus programas de entrenamiento destinados a sujetos sanos y físicamente activos, lo que hace que haya aún pocos datos al respecto y se necesiten un mayor número de intervenciones que la propongan para conocer, realmente, la interferencia que tiene en los ejercicios motrices. Sin embargo, aquellos autores que han introducido ejercicios multitareas basados en la música y el ritmo en poblaciones de adulto mayor, sí que han comprobado que se aumentan los recursos cognitivos disponibles mejorando así el control de la marcha (Kim & Yoo, 2019), el equilibrio y produciéndose una reducción en la tasa de caídas en dicha población (Trombetti et al., 2011). Además, la danza o los entrenamientos coreografiados con música, han demostrado ser una herramienta terapéutica para personas con patologías cognitivas y motrices tales como Parkinson, cáncer o trastornos neurológicos (Bruyneel, 2019; Delabary et al., 2018; Patterson et al., 2018), pues es una actividad que integra movimientos de todas las partes del cuerpo y parecer mejorar la adherencia a las actividades deportivas, así como beneficiar a parámetros cognitivos y de equilibrio (Delabary et al., 2018; Patterson et al., 2018). A su

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

vez, es un fuerte potenciador social y motivacional que favorece la mejora del bienestar de la vida de los sujetos y la lucha contra el sedentarismo en personas con patologías previas (Brewer et al., 2013; Quiroga-Murcia et al., 2010).

A la luz de los resultados, parece que el simple entrenamiento físico de las cualidades perceptivo motrices realizadas, ha provocado mejoras en los resultados de los test de control postural con ojos abiertos y cerrados y la propiocepción de rodilla. Tal y como confirman diversos autores, los programas de entrenamiento de tareas únicas (en este caso motrices), que trabajen parámetros semejantes a las pruebas evaluadas, presentan una mejora en los resultados de dichas pruebas por automatización y transferencia de las tareas desempeñadas. Adicionalmente, las tareas que incluyen instrucciones explícitas que centren el foco de atención sobre el control postural cuando se entrena bajo doble tarea, también mejoran los resultados motrices (Campbell & Robertson, 2003; Silsupadol et al., 2009; Varela-Vásquez et al., 2020). Es decir, el entrenamiento en conceptos específicos mediante la repetición frecuente de ejercicios de las tareas específicas medidas, hace que mejore su desempeño (Shumway-Cook & Woollacott, 2007). Además, se conoce que la focalización de los entrenamientos dirigidos a entrenar cualidades físicas como la propiocepción y el control postural, retrasa el proceso de envejecimiento, ligado a la fragilidad de los adultos mayores y previene el riesgo de caídas (Campbell & Robertson, 2003; Clegg et al., 2013).

Dentro del programa de entrenamiento propuesto, ambos grupos realizaron ejercicios donde se comprometía el control postural y el equilibrio en unas posiciones en

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

las que la rodilla oscilaba entre los 45° de flexión y la extensión completa. Se acepta que los miembros inferiores juegan un papel muy importante sobre el control postural, especialmente gracias a la articulación de la rodilla. La posición de la rodilla, junto con la posición de la cadera, tobillo, y los dedos de los pies, proporcionan mayor estabilidad al cuerpo. Dicha estabilidad se consigue gracias al continuo flujo de información propioceptiva facilitado a través de los ligamentos, cápsulas articulares y músculos que rodean dichas articulaciones y permiten la estabilización anteroposterior y la rotación de la rodilla (Neumann, 2013). A su vez, la posición de flexión a 45° tiene una relación directa con el equilibrio dinámico y estático, puesto que es la posición desde la cual aumenta la capacidad de generar fuerza en el cuádriceps y los isquiosurales, musculatura fundamental para la motricidad y estabilidad de las extremidades inferiores (Wang et al., 2016).

Con respecto a los resultados del efecto del entrenamiento sobre el control postural unipodal, no ha habido diferencias significativas en las variables medidas entre los resultados del pretest con respecto al posttest, incluso podríamos señalar que se ha producido un leve empeoramiento del rendimiento motriz en las pruebas post intervención, aunque no significativo. Es posible, que el hecho de añadir una aferencia auditiva en el grupo experimental como ha sido la música cantada, haya empeorado el registro consciente de las aferencias relacionadas con el equilibrio y también de las aferencias propioceptivas que podrían mejorar el control postural y ayudar a mantener el equilibrio y eso, haya provocado que los resultados de los test de control postural unipodal no hayan variado, o hayan empeorado levemente tras la intervención. Esto puede deberse a la imposibilidad del

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

SN de procesar en la corteza sensorial primaria una aferencia sensitiva de carácter motriz, que se presente en menor intensidad y frecuencia que la aferencia auditiva, ya que las vías neuronales auditivas y motoras y su área de procesamiento cerebral están estrechamente vinculadas (Thaut, 2003). Los presentes resultados están en consonancia con estudios previos, pues se ha demostrado, que los adultos mayores incorporan áreas corticales sensoriomotoras de mayor nivel durante las tareas motoras complejas (como el control postural unipodal), lo que puede provocar una dependencia mayor de la información cognitiva para procesar la información sensorial cortical que permite controlar el movimiento (Heuninckx et al., 2008). Cabe destacar que ha habido una correlación moderada entre los mets y la diferencia prepost intervención en la VM_{AP} de las pruebas unipodal, lo que parece indiciar que el hecho de ser físicamente más activo puede influir en el rendimiento de los test unipodales, aunque no es nada esclarecedor y se debería analizar en mayor profundidad. También es necesario mencionar que tanto la dificultad de la tarea motriz como la reducción de la base de sustentación a la hora de realizar los ejercicios y los test motrices, puede hacer que los resultados varíen, produciéndose un mayor desplazamiento del CoP (Asseman et al., 2005; Caron et al., 2000). Al reducir la base de sustentación, hay un requerimiento superior de la información propioceptiva para alinear las articulaciones lo mejor posible sobre el punto de apoyo, haciendo que no solamente interfieran de manera exclusiva la visión, el tacto, o la información vestibular (Lackner & DiZio, 2005).

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

En cuanto a la tarea cognitiva, no ha habido diferencias significativas entre los resultados pretest y posttest, lo que significa que los sujetos no han variado el número de respuestas dadas ante los campos semánticos propuestos en la “prueba de evocación categorial en asociaciones” del Test Barcelona, que se analizaba simultáneamente a los test motrices. Esto puede tener varias explicaciones, la primera de ellas sería la posible adaptación por parte de los sujetos a los test, dado que no se han modificado los campos semánticos propuestos para el análisis de la tarea cognitiva (Varela-Vásquez et al., 2020). Además, el hecho que el entrenamiento cognitivo propuesto no tuviese relación directa con el test cognitivo analizado, puede haber influido en la neuroplasticidad que se crea en el cerebro cuando se trabajan ejercicios específicos de forma repetitiva, influyendo así en que no haya habido un cambio en el rendimiento del test (Mang et al., 2013; Voss et al., 2010). Por otro lado, las características de los sujetos que formaban la muestra, pueden haber influido en el desarrollo del test cognitivo, ya que tenían un nivel cultural alto, dado los resultados mostrados en la escala de RC. Esto parece indicar que el grado de bagaje cultural de los sujetos les ha podido facilitar la ejecución de la doble tarea cognitiva, ya que mientras mayor sea el nivel cultural de un sujeto, mayor será el incremento de redes neuronales que le permitan asociar los aprendizajes obtenidos con los desarrollados, mejorando así las funciones cognitivas y reduciendo a su vez su deterioro (Park, 2002; Samite & Schipani, 2016).

Aunque se conoce que la RC juega un papel importante en el enlentecimiento del deterioro cognitivo y favorece el envejecimiento activo (Stern, 2009), no tenemos datos

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

suficientes como para afirmar o desmentir la influencia real que este parámetro tiene en los test motrices-cognitivos realizados. Estudios previos asocian una mejor RC con un mejor desempeño en los ejercicios motrices de equilibrio durante programas de entrenamientos duales (Barceló, 2021). Aun así, destacan la influencia de la capacidad individual de cada sujeto para responder ante diferentes situaciones. En consonancia con nuestros resultados, solo aquellos sujetos con mejor puntuación en la escala de RC, han tenido mejor rendimiento en el test de propiocepción. Esto se explica bajo la idea de que la RC tiene una correlación con aquellas tareas que implican la activación de un mayor número de redes neuronales, ya que son más exigentes cognitivamente para el individuo (Piccinini et al., 2017). Es por este motivo que se considera de vital importancia trabajar las diferentes áreas del cerebro con el fin de mejorar las cortezas de asociación y, por ende, el mejor funcionamiento cerebral, favoreciendo así la plasticidad en el cerebro de las personas adultas, previniendo el deterioro cognitivo y mejorando su rendimiento, tanto en las personas con un envejecimiento sano como patológico (Brosnan et al., 2018; Medaglia et al., 2017).

Parece que el desarrollo del SN logrado a altos niveles de RC, ha mejorado el registro consciente de la información propioceptiva de la rodilla en la condición de ojos cerrados. Sabemos que al anular el *input* visual es necesaria la recepción de información de otras modalidades sensoriales que ayudan al control postural (Goodman & Tremblay, 2018). En ausencia del *input* visual, la propiocepción es la principal fuente de información aferente necesaria para el control postural de una articulación (Goodman & Tremblay,

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

2018). El hecho de mantener los ojos cerrados permite a los sujetos interiorizar conscientemente la posición y realizar el reposicionamiento articular de una manera más óptima (Ansorge et al., 2007; Goodman & Tremblay, 2018).

Es conocido que la capacidad de almacenamiento y la velocidad de procesamiento visual se deteriora con la edad, pudiendo producir interferencias en los hemisferios cerebrales entre la visión y la RC (Brosnan et al., 2018). Por este motivo, consideramos que al no interferir la visión en las pruebas de propiocepción, el papel de la RC es más determinante en el rendimiento motriz. Por todo ello, podríamos decir que la estimulación global del SN afectado por el envejecimiento y por patologías cognitivas, mejorará su funcionamiento en el resto de tareas, ya sean cognitiva o motrices (Barceló, 2021; Brosnan et al., 2018; Piccinini et al., 2017; Stern, 2009).

Existe controversia a la hora de determinar la duración y el tipo de programas de entrenamiento de tarea dual que mejoren el rendimiento motriz de sujetos adultos mayores sanos, pues hay autores que aseguran que para producirse mejoras, se necesitan entre 8 y 12 semanas, con una continuidad de entre 2 a 3 sesiones por semana, con una duración de entre 15 y 45 minutos (Ghai et al., 2017). Otros como Silsupadol et al., (2009), consideran necesario un mínimo de 12 semanas de entrenamiento de doble tarea, con instrucciones de prioridad variable en las tareas motriz-cognitivas, para que el efecto se mantenga en el tiempo. Una revisión sistemática reciente destaca que, la principal limitación de los programas de entrenamiento con tarea dual, es la heterogeneidad en los ejercicios

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

desarrollados y la falta de especificación de la dificultad de la tarea secundaria (Varela-Vásquez et al., 2020).

Aunque existe evidencia científica sobre las consecuencias derivadas del deterioro cognitivo-motriz que sufren la población adulta mayor (Varela-Vásquez et al., 2020), escasean los estudios en poblaciones de adultos mayores sanos y físicamente activos, por lo que son necesarios más estudios que permitan crear programas de entrenamientos adecuados a esta población sin patologías previas y físicamente activos, atendiendo al creciente aumento de la longevidad de la sociedad sana.

7.6. Limitaciones y Líneas Futuras

Como principal limitación del estudio nos encontramos con que solo se ha podido disponer de 2 sesiones semanales para el desarrollo del programa de entrenamiento, sin embargo los programas de entrenamiento que pretenden una mejora del SN se proponen con una periodicidad de 4 sesiones semanales, llegando incluso a ser de 7 sesiones semanales. Este aspecto puede haber limitado la mejora de la función cerebral de los participantes en el estudio por reducción de la frecuencia de estímulos.

Otra limitación es la gran experiencia en actividades dirigidas coreografiadas con acompañamiento musical a las que estaban acostumbrados tanto el GE como el GC, lo que puede haber supuesto un reto para el SN de ambos grupos inferior al habitual y en consecuencia, no haya supuesto un estímulo epicrítico capaz de provocar ningún cambio en la función del SN de nuestros participantes.

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

Aceptamos como limitación el no haber podido ajustar el nivel de motivación por el mantenimiento de la atención sobre la tarea realizada por el investigador durante las sesiones. El hecho de no tener música en el GC hizo que el investigador los motivase y los dirigiese a través de la voz, con lo que pudo haber mejorado su capacidad atencional más que con la sola presencia de la música.

Tampoco hemos podido contar con la suficiente muestra de sujetos varones, de modo que no se ha podido hacer comparaciones por sexo.

Como futuras líneas sería interesante estudiar las diferencias en los efectos de este tipo de entrenamiento entre sujetos hombres y mujeres, puesto que la población masculina ha demostrado tener mayor incidencia en enfermedades de deterioro cognitivo (incidencia del Alzheimer).

Se debería comparar a grupos de sujetos que no están familiarizados con las sesiones coreografiadas dirigidas con respecto a los que sí lo están, con el fin de conocer la influencia real de estas sesiones, y así poder encontrar la adaptación y la dificultad necesaria para que se produzca una mejora. A su vez, creemos que es necesario la implementación de sesiones de entrenamiento que combinen el ejercicio motriz con tareas cognitivas de cualquier tipo, ya bien sea con música, con ejercicios de numeración, con memorización de colores, etc, para estimular su sistema cognitivo y mejorar su calidad de vida diaria y su estado de forma física.

Estudio 3:

Efectos de 8 semanas de entrenamiento cognitivo-motor sobre la propiocepción y el control postural en condiciones de tarea única y doble en adultos mayores sanos: ensayo clínico aleatorizado

7.7. Conclusiones

El desarrollo de un programa de entrenamiento físico de 8 semanas destinado a la mejora de la propiocepción y el control postural, ha mejorado el rendimiento de los test de control postural (con OA y OC) y propioceptivos, pero no ha mejorado los resultados de control postural unipodal. La intervención de doble tarea cognitivo-motriz con la inclusión de música cantada desconocida en las sesiones de entrenamiento, no ha mejorado el rendimiento en los test de control postural y propiocepción realizados con tarea cognitiva simultánea con respecto al GC. Una mayor RC interfiere de manera moderada en el rendimiento del test propioceptivo y un mayor volumen de actividad física, interfiere de manera moderada en los resultados del test de Romberg unipodal. Es necesario un mayor número de investigaciones sobre el entrenamiento dual en sujetos sanos y físicamente activos, con el fin de adaptar los entrenamientos con doble tarea motor-cognitiva a las necesidades de este grupo de población.

8. CONCLUSIONES GENERALES

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal, evaluar el comportamiento de las variables que interfieren en las diferentes funciones del sistema nervioso, como son la propiocepción, el control postural y la tarea cognitiva, así como la relación existente entre ellas. A su vez, estudió la influencia de la edad y el papel mediador de la visión sobre las diferentes variables estudiadas y el efecto de un programa de entrenamiento de 8 semanas motor-cognitivo en las variables medidas. Como conclusión general podemos afirmar que no existe una correlación entre el control postural y la propiocepción y que la visión media indirectamente de manera significativa entre los test de control postural con ojos cerrados y los propioceptivos. Que la inclusión de una tarea cognitiva simultánea a la motriz, hace que el rendimiento de los test motrices empeore. Que no existen diferencias entre los grupos al realizar las pruebas motrices y cognitivas simultáneas, solo observándose diferencias en los grupos de menor y mayor edad cuando se realizan los test de control postural sin tarea cognitiva con cambio de base de sustentación o con y sin visión. Y finalmente que la realización de un programa de 8 semanas de entrenamiento físico con ejercicios propioceptivos y de control postural, mejora el rendimiento de los test tras su aplicación, pero que la intervención como tal, con la inclusión de música cantada desconocida, no muestra diferencias significativas entre el GC y el GE.

A continuación, se exponen las conclusiones a partir de los resultados obtenidos y que hacen referencia a los objetivos formulados al inicio de la Tesis:

Conclusiones

8.1. Conclusiones del Estudio 1:

1. La ausencia de la visión juega un papel mediador significativo indirecto entre los resultados de control postural con ojos cerrados y propiocepción.
2. No existen diferencias significativas entre los resultados de los test de control postural y propiocepción de la rodilla. Los grupos de edad de adolescentes y adultos mayores son los que peores resultados obtienen en las pruebas de control postural y propiocepción.

Conclusiones

8.2. Conclusiones del Estudio 2:

1. El rendimiento de los test de control postural empeora cuando realizamos de manera simultánea una tarea cognitiva, pero no hay diferencias significativas entre los diferentes grupos de edad. No existen diferencias significativas entre realizar el test propioceptivo con o sin tarea cognitiva.
2. Existen diferencias significativas en función de la posición realizada en el test de Romberg sin tarea cognitiva, pero solo hay diferencias entre grupos en la posición unipodal. En presencia de la condición de una tarea cognitiva, empeoran los resultados de los test de control postural pero no hay diferencias entre los diferentes grupos de edad.

Conclusiones

8.3. Conclusiones del Estudio 3:

1. La inclusión de la doble tarea motor-cognitiva en las sesiones de entrenamiento, no mejoró el rendimiento de los test de control postural y propiocepción realizados con tarea cognitiva simultánea del grupo experimental con respecto al grupo control después de 8 semanas.
2. Los participantes con mayor Reserva Cognitiva presentan una correlación moderada con la propiocepción. Los participantes con un mayor volumen de actividad física presentan una correlación moderada únicamente en el rendimiento del test de Romberg unipodal.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adamo, D. E., Alexander, N. B., & Brown, S. H. (2009). The influence of age and physical activity on upper limb proprioceptive ability. *Journal of Aging and Physical Activity, 17*(3), 272–293.
2. 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.
3. Alexander, K. M., & Kinney 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.
4. Alves, R. F., Rossi, A. G., Pranke, G. I., & Lemos, L. F. C. (2013). Influence of gender in postural balance of school age children/Influencia do genero no equilibrio postural de criancas com idade escolar. *Revista CEFAC: Atualizacao Cientifica Em Fonoaudiologia e Educacao, 15*(3).
5. Aman, J. E., Elangovan, N., Yeh, I., & Konczak, J. (2015). The effectiveness of proprioceptive training for improving motor function: a systematic review. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*, 1075.
6. Amblard, B., Cremieux, J., Marchand, A. R., & Carblanc, A. (1985). Lateral orientation and stabilization of human stance: static versus dynamic visual cues. *Experimental Brain Research, 61*(1), 21–37.

Referencias Bibliográficas

7. Andrade, Larissa Pires de, Rinaldi, N. M., Coelho, F. G. de M., Tanaka, K., Stella, F., & Gobbi, L. T. B. (2014). Dual task and postural control in Alzheimer's and Parkinson's disease. *Motriz: Revista de Educação Física*, 20(1), 78–84.
8. Andrade, Larissa P, Gobbi, L. T. B., Coelho, F. G. M., Christofolletti, G., Riani Costa, J. L., & Stella, F. (2013). Benefits of multimodal exercise intervention for postural control and frontal cognitive functions in individuals with Alzheimer's disease: a controlled trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, 61(11), 1919–1926.
9. Ansorge, U., Francis, G., Herzog, M. H., & Ögmen, H. (2007). Visual masking and the dynamics of human perception, cognition, and consciousness A century of progress, a contemporary synthesis, and future directions. *Advances in Cognitive Psychology*, 3(1–2), 1.
10. Aramaki, Y., Nozaki, D., Masani, K., Sato, T., Nakazawa, K., & Yano, H. (2001). Reciprocal angular acceleration of the ankle and hip joints during quiet standing in humans. *Experimental Brain Research*, 136(4), 463–473.
11. Arenas, M. D. A. (2016). *Análisis y valoración del control postural mediante indicadores basados en acelerometría: Propuesta de aplicación en hipoterapia*. Universidad de Extremadura.
12. Ashton-Miller, J. A., Wojtys, E. M., Huston, L. J., & Fry-Welch, D. (2001). Can proprioception really be improved by exercises? In *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* (Vol. 9, Issue 3, pp. 128–136).

Referencias Bibliográficas

13. Assaiante, Ch, & Amblard, B. (1995). An ontogenetic model for the sensorimotor organization of balance control in humans. *Human Movement Science, 14*(1), 13–43.
14. Assaiante, Christine, 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.
15. Asseman, F., Caron, O., & Cremieux, J. (2005). Effects of the removal of vision on body sway during different postures in elite gymnasts. *International Journal of Sports Medicine, 26*(02), 116–119.
16. Azadian, E., Torbati, H. R. T., Kakhki, A. R. S., & Farahpour, N. (2016). The effect of dual task and executive training on pattern of gait in older adults with balance impairment: A Randomized controlled trial. *Archives of Gerontology and Geriatrics, 62*, 83–89.
17. Barahona, M. L., Encinas, J. P. M., Pascual, R. Q., Prado, J. A.-L., & GIL, M. Á. F. (2011). *Structural and Functional anatomy of cerebellum. More than a motor conception.*
18. Barca-Enriquez, E., Brenlla, J. C., Peralbo, M., Almeida, L. S., Porto, A., & Barca, A. (2015). Habilidades cognitivas, autoeficacia y estrategias de aprendizaje: indicadores y determinantes del rendimiento académico en el alumnado de educación secundaria. *Revista de Estudios e Investigación En Psicología y Educación, 83–89.*
19. Baudry, S., Maerz, A. H., & Enoka, R. M. (2010). Presynaptic modulation of Ia afferents in young and old adults when performing force and position control. *Journal of*

Referencias Bibliográficas

Neurophysiology, 103(2), 623–631.

20. Bayot, M., Dujardin, K., Dissaux, L., Tard, C., Defebvre, L., Bonnet, C. T., Allart, E., Allali, G., & Delval, A. (2020). Can dual-task paradigms predict Falls better than single task?—A systematic literature review. *Neurophysiologie Clinique*.

21. Bayot, M., Dujardin, K., Tard, C., Defebvre, L., Bonnet, C. T., Allart, E., & Delval, A. (2018). The interaction between cognition and motor control: A theoretical framework for dual-task interference effects on posture, gait initiation, gait and turning. *Neurophysiologie Clinique*, 48(6), 361–375.

22. Bell, F. (1998). *Principles of mechanics and biomechanics*. Nelson Thornes.

23. Benaim, C., Pérennou, D. A., Villy, J., Rousseaux, M., & Pelissier, J. Y. (1999). Validation of a standardized assessment of postural control in stroke patients: the Postural Assessment Scale for Stroke Patients (PASS). *Stroke*, 30(9), 1862–1868.

24. Berg, K. O., Wood-Dauphinee, S. L., Williams, J. I., & Maki, B. (1992). Measuring balance in the elderly: validation of an instrument. *Canadian Journal of Public Health= Revue Canadienne de Sante Publique*, 83, S7-11.

25. Bergstra, S. A., Kluitenberg, B., Dekker, R., Bredeweg, S. W., Postema, K., Van den Heuvel, E. R., Hijmans, J. M., & Sobhani, S. (2015). Running with a minimalist shoe increases plantar pressure in the forefoot region of healthy female runners. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(4), 463–468.

26. Berthoz, A. (2000). *The brain's sense of movement* (Vol. 10). Harvard University

Referencias Bibliográficas

Press.

27. Berthoz, A., Lacour, M., Soechting, J. F., & Vidal, P. P. (1979). The role of vision in the control of posture during linear motion. *Progress in Brain Research*, 50, 197–209.
28. Beurskens, R., & Bock, O. (2013). Does the walking task matter? Influence of different walking conditions on dual-task performances in young and older persons. *Human Movement Science*, 32(6), 1456–1466.
29. Bishnoi, A., & Hernandez, M. E. (2020). Dual task walking costs in older adults with mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis. *Aging & Mental Health*, 1–12.
30. Bjorklund, D. F. (1995). *Children's thinking: Developmental function and individual differences*. Thomson Brooks/Cole Publishing Co.
31. Blanchard, Y., Carey, S., Coffey, J., Cohen, A., Harris, T., Michlik, S., & Pellecchia, G. L. (2005). The influence of concurrent cognitive tasks on postural sway in children. *Pediatric Physical Therapy*, 17(3), 189–193.
32. Bock, O. (2008). Dual-task costs while walking increase in old age for some, but not for other tasks: an experimental study of healthy young and elderly persons. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 5(1), 1–9.
33. Borghuis, J., Hof, A. L., & Lemmink, K. A. P. M. (2008). The importance of sensory-motor control in providing core stability. *Sports Medicine*, 38(11), 893–916.
34. Bosch Barceló, P. (2021). *Relación entre la reserva cognitiva y los parámetros de*

Referencias Bibliográficas

la marcha durante una doble tarea en pacientes de Parkinson (c).

35. Breinbauer, H. A. (2016). Evaluación Vestibular En 2016. Puesta Al Día. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 27(6), 863–871.
36. Brewer, L., Horgan, F., Hickey, A., & Williams, D. (2013). Stroke rehabilitation: recent advances and future therapies. *QJM: An International Journal of Medicine*, 106(1), 11–25.
37. Brosnan, M. B., Demaria, G., Petersen, A., Dockree, P. M., Robertson, I. H., & Wiegand, I. (2018). Plasticity of the right-lateralized cognitive reserve network in ageing. *Cerebral Cortex*, 28(5), 1749–1759.
38. Bruyneel, A.-V. (2019). Effects of dance activities on patients with chronic pathologies: scoping review. *Heliyon*, 5(7), e02104.
39. 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.
40. Calzada, A. C., Esteban, M. N. B., Cabaco, A. S., & Mateos, L. M. S. (2018). *El papel de la reserva cognitiva en el proceso de envejecimiento.*
41. Campbell, A. J., & Robertson, M. C. (2003). Otago exercise programme to prevent falls in older adults. *Wellington: ACC Thinksafe*, 3.
42. Caron, O., Gélât, 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:

Referencias Bibliográficas

an estimation of active stiffness. *Journal of Applied Biomechanics*, 16(3), 234–247.

43. Carrasco, M., Ling, S., & Read, S. (2004). Attention alters appearance. *Nature Neuroscience*, 7(3), 308–313.

44. Cholewicki, J., Silfies, S. P., Shah, R. A., Greene, H. S., Reeves, N. P., Alvi, K., & Goldberg, B. (2005). Delayed trunk muscle reflex responses increase the risk of low back injuries. *Spine*, 30(23), 2614–2620.

45. Cimadoro, G., Paizis, C., Alberti, G., & Babault, N. (2013). Effects of different unstable supports on EMG activity and balance. *Neuroscience Letters*, 548, 228–232.

46. Clegg, A., Young, J., Iliffe, S., Rikkert, M. O., & Rockwood, K. (2013). Frailty in elderly people. *The Lancet*, 381(9868), 752–762.

47. Coelho, F. G. de M., Andrade, L. P., Pedroso, R. V., Santos-Galduroz, R. F., Gobbi, S., Costa, J. L. R., & Gobbi, L. T. B. (2013). Multimodal exercise intervention improves frontal cognitive functions and gait in Alzheimer's disease: a controlled trial. *Geriatrics & Gerontology International*, 13(1), 198–203.

48. Cohen, R. A., Sparling-Cohen, Y. A., & O'Donnell, B. F. (1993). *The neuropsychology of attention*. Springer.

49. Crowe, S. F. (2000). Does the letter number sequencing task measure anything more than digit span? *Assessment*, 7(2), 113–117.

50. Cumberworth, V. L., Patel, N. N., Rogers, W., & Kenyon, G. S. (2007). The maturation of balance in children. *The Journal of Laryngology and Otology*, 121(5), 449.

Referencias Bibliográficas

51. da Silva, E. M., Sepúlveda-Loyola, W., da Silva, J. M., dos Santos, G. C., & Pereira, C. (2020). Comparación entre simple y doble tarea, capacidad cognitiva y equilibrio postural en adultos mayores que participan de 3 modalidades de ejercicio físico. *Fisioterapia*, 42(1), 33–38.
52. de Almeida Lins, C. A., de Brito Macedo, L., Silveira, R. A. G., Borges, D. T., & Brasileiro, J. S. (2015). Influence of cryotherapy on balance and joint position sense in healthy subjects: randomized clinical trial. *Manual Therapy, Posturology & Rehabilitation Journal*, 1–6.
53. de Avalos, M. V., & Velasquez, M. (2000). *Comprension Lectora: Dificultades Estratigicas en Resolucion de Preguntas Inferenciales*. Ediciones Colihue SRL.
54. de Sá, C. dos S. C., Boffino, C. C., Ramos, R. T., & Tanaka, C. (2018). Development of postural control and maturation of sensory systems in children of different ages a cross-sectional study. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 22(1), 70–76.
55. Deary, I. A. N. J., Sacker, A., & Richards, M. (2013). Lifetime antecedents of cognitive reserve. In *Cognitive Reserve* (pp. 54–69). Psychology Press.
56. Deliagina, T. G., Zelenin, P. V., Beloozerova, I. N., & Orlovsky, G. N. (2007). Nervous mechanisms controlling body posture. *Physiology & Behavior*, 92(1–2), 148–154.
57. Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. *Principles of Frontal Lobe Function*, 466–503.

Referencias Bibliográficas

58. DiStefano, L. J., Clark, M. A., & Padua, D. A. (2009). Evidence supporting balance training in healthy individuals: a systemic review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(9), 2718–2731.
59. dos Santos Delabary, M., Komerovski, I. G., Monteiro, E. P., Costa, R. R., & Haas, A. N. (2018). Effects of dance practice on functional mobility, motor symptoms and quality of life in people with Parkinson's disease: a systematic review with meta-analysis. *Aging Clinical and Experimental Research*, 30(7), 727–735.
60. Doyle, R. J., Hsiao-Wecksler, E. T., Ragan, B. G., & Rosengren, K. S. (2007). Generalizability of center of pressure measures of quiet standing. *Gait & Posture*, 25(2), 166–171.
61. Duarte, M., & Freitas, S. M. S. F. (2010). Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 14(3), 183–192.
62. 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.
63. Duzgun, I., Kanbur, N. O., Baltaci, G., & Aydin, T. (2011). Effect of tanner stage on proprioception accuracy. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 50(1), 11–15.
64. Ehsani, H., Mohler, M. J., O'connor, K., Zamrini, E., Tirambulo, C., & Toosizadeh, N. (2019). The association between cognition and dual-tasking among older adults: the effect of motor function type and cognition task difficulty. *Clinical Interventions in Aging*,

Referencias Bibliográficas

14, 659.

65. Falbo, S., Condello, G., Capranica, L., Forte, R., & Pesce, C. (2016). Effects of physical-cognitive dual task training on executive function and gait performance in older adults: a randomized controlled trial. *BioMed Research International*, 2016.

66. Farrell Pagulayan, K., Busch, R. M., Medina, K. L., Bartok, J. A., & Krikorian, R. (2006). Developmental normative data for the Corsi Block-tapping task. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 28(6), 1043–1052.

67. Felson, D. T., Gross, K. D., Nevitt, M. C., Yang, M., Lane, N. E., Torner, J. C., Lewis, C. E., & Hurley, M. V. (2009). The effects of impaired joint position sense on the development and progression of pain and structural damage in knee osteoarthritis. *Arthritis Care & Research*, 61(8), 1070–1076.

68. 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.

69. Ferlinc, A., Fabiani, E., Velnar, T., & Gradisnik, L. (2019). The importance and role of proprioception in the elderly: a short review. *Materia Socio-Medica*, 31(3), 219.

70. Fernández, V. P., SierraVinuesa, R., & Fernández, E. C. (2018). 14.-Importancia del desarrollo de un programa de fisioterapia en la reeducación del equilibrio en nuestros mayores. *VI Congreso Internacional de Deporte Inclusivo: Salud, Desarrollo y Bienestar*

Referencias Bibliográficas

Personal, 83, 119.

71. Franchignoni, F., Horak, F., Godi, M., Nardone, A., & Giordano, A. (2010). Using psychometric techniques to improve the Balance Evaluation Systems Test: the mini-BESTest. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 42(4), 323–331.

72. 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), 187–202.

73. Fujiyama, H., Hinder, M. R., Schmidt, M. W., Garry, M. I., & Summers, J. J. (2012). Age-related differences in corticospinal excitability and inhibition during coordination of upper and lower limbs. *Neurobiology of Aging*, 33(7), 1484-e1.

74. Gaerlan, M. G. (2010). The role of visual, vestibular, and somatosensory systems in postural balance. *University of Nevada Las Vegas*.

75. Gallou-Guyot, M., Mandigout, S., Combourieu-Donnezan, L., Bherer, L., & Perrochon, A. (2020). Cognitive and physical impact of cognitive-motor dual-task training in cognitively impaired older adults: An overview. *Neurophysiologie Clinique*.

76. Gandia Delegido, S. (2020). *Influencia de la tarea dual y la restricción sensorial sobre el control postural en los adolescentes de 13 a 18 años*.

77. García-Flores, F. I., Rivera-Cisneros, A. E., Sánchez-González, J. M., Guardado-Mendoza, R., & Torres-Gutiérrez, J. L. (2016). Correlación entre velocidad de marcha y fuerza muscular con equilibrio para reducir caídas en ancianos. *Cirugía y Cirujanos*, 84(5),

Referencias Bibliográficas

392–397.

78. García, F. (2017). Valoración De La Postura Y El Equilibrio Mediante Posturografía . Aplicaciones. *Clinics, April*, 4–5.

79. Gardner, H. (1998). *Inteligencias múltiples*. Paidós Barcelona.

80. Gélat, T., Caron, O., Metzger, T., & Rougier, P. (1994). Human posturokinetic strategies from a horizontal quadrupedal stance. Temporal and biomechanical aspects. *Gait & Posture*, 2(4), 221–226.

81. Ghai, S. (2016). *Research Commons at the University of Waikato Copyright Statement : Master of Social Sciences at The University of Waikato. 2016.*

82. Ghai, S., Driller, M., & Ghai, I. (2016). Effects of joint stabilizers on proprioception and stability: A systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*.

83. Ghai, S., Ghai, I., & Effenberg, A. O. (2017). Effects of dual tasks and dual-task training on postural stability: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Interventions in Aging*, 12, 557.

84. Gilman, S. (2002). Joint position sense and vibration sense: anatomical organisation and assessment. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 73(5), 473–477.

85. Gleizer, S. A. S. (2018). Música, arte y memoria: actividades para adultos mayores: una experiencia de formación de postgrado para maestros de primaria y de educación infantil. *Revista Docencia e Investigación*, 1(27), 101–117.

Referencias Bibliográficas

86. Glenn, J. M., Vincenzo, J., Canella, C. K., Binns, A., & Gray, M. (2015). Habitual and maximal dual-task gait speeds among sedentary, recreationally active, and masters athlete late middle-aged adults. *Journal of Aging and Physical Activity, 23*(3), 433–437.
87. Goble, D. J. (2010). Proprioceptive acuity assessment via joint position matching: from basic science to general practice. *Physical Therapy, 90*(8), 1176.
88. Goble, D. J., Coxon, J. P., Wenderoth, N., Van Impe, A., & Swinnen, S. P. (2009). Proprioceptive sensibility in the elderly: degeneration, functional consequences and plastic-adaptive processes. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 33*(3), 271–278.
89. Goble, D. J., Lewis, C. A., Hurvitz, E. A., & Brown, S. H. (2005). Development of upper limb proprioceptive accuracy in children and adolescents. *Human Movement Science, 24*(2), 155–170.
90. Goffredo, M., Schmid, M., Conforto, S., & D'Alessio, T. (2006). A markerless sub-pixel motion estimation technique to reconstruct kinematics and estimate the centre of mass in posturography. *Medical Engineering & Physics, 28*(7), 719–726.
91. Goldstone, A., Mayhew, S. D., Hale, J. R., Wilson, R. S., & Bagshaw, A. P. (2018). Thalamic functional connectivity and its association with behavioral performance in older age. *Brain and Behavior, 8*(4), e00943.
92. Gómez-Pérez, E., Ostrosky-Solís, F., & Próspero-García, O. (2003). Desarrollo de la atención, la memoria y los procesos inhibitorios: relación temporal con la maduración de la estructura y función cerebral. *Revista de Neurología, 37*(6), 561–567.

Referencias Bibliográficas

93. Goodman, R., & Tremblay, L. (2018). Using proprioception to control ongoing actions: dominance of vision or altered proprioceptive weighing? *Experimental Brain Research*, 236(7), 1897–1910.
94. Granit, R., & Burke, R. E. (1973). The control of movement and posture. *Brain Research*, 53(1), 1–28.
95. Green, C. S., & Bavelier, D. (2008). Exercising your brain: a review of human brain plasticity and training-induced learning. *Psychology and Aging*, 23(4), 692.
96. Guney-Deniz, H., & Callaghan, M. (2018). Proprioception. In D. Kaya, B. Yosmaoglu, & M. N. Doral (Eds.), *Proprioception in Orthopaedics, Sports Medicine and Rehabilitation* (p. 149). Springer.
97. 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.
98. Guralnik, J. M., Simonsick, E. M., Ferrucci, L., Glynn, R. J., Berkman, L. F., Blazer, D. G., Scherr, P. A., & Wallace, R. B. (1994). A short physical performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *Journal of Gerontology*, 49(2), M85–M94.
99. Guyton, A. C. (2016). *Textbook Of Medical Physiology*.
100. Han, J., Anson, J., Waddington, G., & Adams, R. (2013). Proprioceptive performance of bilateral upper and lower limb joints: side-general and site-specific

Referencias Bibliográficas

effects. *Experimental Brain Research*, 226(3), 313–323.

101. Han, J., Anson, J., Waddington, G., Adams, R., & Liu, Y. (2015). The role of ankle proprioception for balance control in relation to sports performance and injury. *BioMed Research International*, 2015.

102. Han, J., Waddington, G., Adams, R., Anson, J., & Liu, Y. (2016). Assessing proprioception: a critical review of methods. *Journal of Sport and Health Science*, 5(1), 80–90.

103. Hayes, N. (1995). Introducción a los procesos cognitivos. *Introducción a Los Procesos Cognitivos*, 13–62.

104. Henry, M., & Baudry, S. (2019). Age-related changes in leg proprioception: implications for postural control. *Journal of Neurophysiology*, 122(2), 525–538.

105. Herath, P., Klingberg, T., Young, J., Amunts, K., & Roland, P. (2001). Neural correlates of dual task interference can be dissociated from those of divided attention: an fMRI study. *Cerebral Cortex*, 11(9), 796–805.

106. Hernández, N., Álvarez, G., Bravo, F., Carlo Vieira, J., Reina, E. A., & Manuel Herrera, J. (2018). Validación de la prueba de Romberg Modificada para la determinación del tiempo de propiocepción inconciente en adultos sanos. *Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0120884518300129>

107. Heuninckx, S., Wenderoth, N., & Swinnen, S. P. (2008). Systems neuroplasticity in

Referencias Bibliográficas

the aging brain: recruiting additional neural resources for successful motor performance in elderly persons. *Journal of Neuroscience*, 28(1), 91–99.

108. Hiyamizu, M., Morioka, S., Shomoto, K., & Shimada, T. (2012). Effects of dual task balance training on dual task performance in elderly people: a randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 26(1), 58–67.

109. Holden, M. K., Gill, K. M., Magliozzi, M. R., Nathan, J., & Piehl-Baker, L. (1984). Clinical gait assessment in the neurologically impaired: reliability and meaningfulness. *Physical Therapy*, 64(1), 35–40.

110. Holmes, J. D., Jenkins, M. E., Johnson, A. M., Adams, S. G., & Spaulding, S. J. (2010). Dual-task interference: the effects of verbal cognitive tasks on upright postural stability in Parkinson's disease. *Parkinson's Disease*, 2010.

111. Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3–12. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>

112. 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.

113. Horak, F. B., & Macpherson, J. M. (2010). Postural orientation and equilibrium. *Comprehensive Physiology*, 255–292.

114. Horak, F. B., Nashner, L. M., & Diener, H. C. (1990). Postural strategies associated

Referencias Bibliográficas

- with somatosensory and vestibular loss. *Experimental Brain Research*, 82(1), 167–177.
115. Hrysomallis, C. (2011). Balance ability and athletic performance. *Sports Medicine*, 41(3), 221–232.
116. 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.
117. Hunter, S. K., Pereira, H. M., & Keenan, K. G. (2016). The aging neuromuscular system and motor performance. *Journal of Applied Physiology*, 121(4), 982–995.
118. 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.
119. Hwang, S., Agada, P., Kiemel, T., & Jeka, J. J. (2014). Dynamic reweighting of three modalities for sensor fusion. *PloS One*, 9(1).
120. Ivanenko, Y., & Gurfinkel, V. S. (2018). Human postural control. *Frontiers in Neuroscience*, 12, 171.
121. Jacobson, G. P., Shepard, N. T., Barin, K., Janky, K., & McCaslin, D. L. (2020). *Balance function assessment and management*. plural publishing.
122. Jensen, A. R., & Rohwer Jr, W. D. (1966). The Stroop color-word test: a review. *Acta Psychologica*, 25, 36–93.
123. Jerosch, J., & Prymka, M. (1996). Proprioception and joint stability. *Knee Surgery*,

Referencias Bibliográficas

Sports Traumatology, Arthroscopy, 4(3), 171–179.

124. Jiang, Y. (2004). Resolving dual-task interference: an fMRI study. *Neuroimage*, 22(2), 748–754.

125. Jo, H. J., Song, A. Y., Lee, K. J., Lee, D. C., Kim, Y. H., & Sung, P. S. (2011). A kinematic analysis of relative stability of the lower extremities between subjects with and without chronic low back pain. *European Spine Journal*, 20(8), 1297–1303.

126. Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum, S., Hudspeth, A. J., & Mack, S. (2000). *Principles of neural science* (Vol. 4). McGraw-hill New York.

127. Karmali, F., Bermúdez Rey, M. C., Clark, T. K., Wang, W., & Merfeld, D. M. (2017). Multivariate Analyses of Balance Test Performance, Vestibular Thresholds, and Age. *Frontiers in Neurology*, 8(November), 1–16.
<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fneur.2017.00578/full>

128. Katić, R., Bonacin, D., Padovan, M., & Blažević, S. (2001). Phylogenetically conditioned possibilities of the realization and of the development of complex movements at the age of 7 years. *Collegium Antropologicum*, 25(2), 573–583.

129. Kim, S. J., & Yoo, G. E. (2019). Rhythm-motor dual task intervention for fall prevention in healthy older adults. *Frontiers in Psychology*, 10.

130. Kolber, M. J., Pizzini, M., Robinson, A., Yanez, D., & Hanney, W. J. (2013). The reliability and concurrent validity of measurements used to quantify lumbar spine mobility: an analysis of an iphone® application and gravity based inclinometry.

Referencias Bibliográficas

International Journal of Sports Physical Therapy, 8(2), 129.

131. Kramer, A. F., Larish, J. F., & Strayer, D. L. (1995). Training for attentional control in dual task settings: A comparison of young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 1(1), 50.

132. Kumar, C. (2014). Effect of training balance under dual task with fixed and variable priority instructions with balance impairment in institutionalized elderly population. *Indian Journal of Physiotherapy and Occupational Therapy*, 8(3), 152.

133. Kümmel, J., Kramer, A., Giboin, L.-S., & Gruber, M. (2016). Specificity of balance training in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 46(9), 1261–1271.

134. La Porta, F., Franceschini, M., Caselli, S., Susassi, S., Cavallini, P., & Tennant, A. (2011). Unified Balance Scale: classic psychometric and clinical properties. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 43(5), 445–453.

135. Lackner, J. R., & DiZio, P. (2005). Vestibular, proprioceptive, and haptic contributions to spatial orientation. *Annu. Rev. Psychol.*, 56, 115–147.

136. Lacour, M. (2013). Fisiología del equilibrio: de los modelos genéticos a los enfoques cognitivistas. *EMC-Podología*, 15(2), 1–8.

137. Lacour, M, & Borel, L. (1993). Vestibular control of posture and gait. *Archives Italiennes de Biologie*, 131(2), 81–104.

138. Lacour, Michel, Bernard-Demanze, L., & Dumitrescu, M. (2008). Posture control,

Referencias Bibliográficas

- aging, and attention resources: models and posture-analysis methods. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 38(6), 411–421.
139. Lacour, Michel, Dupui, P., & Montoya, R. (2003). *Physiologie, Techniques, Pathologies*. Groupe de Boeck.
140. Lajoie, Y., Teasdale, N., Bard, C., & Fleury, M. (1993). Attentional demands for static and dynamic equilibrium. *Experimental Brain Research*, 97(1), 139–144.
141. Laufer, Y., Ashkenazi, T., & Josman, N. (2008). The effects of a concurrent cognitive task on the postural control of young children with and without developmental coordination disorder. *Gait & Posture*, 27(2), 347–351.
142. Lee, D.-H., Lee, J.-H., Ahn, S.-E., & Park, M.-J. (2015). Effect of time after anterior cruciate ligament tears on proprioception and postural stability. *PLoS One*, 10(9).
143. Lee, D., & Han, S. (2017). Validation of Joint Position Sense of Dorsi-Plantar Flexion of Ankle Measurements Using a Smartphone. *Healthcare Informatics Research*, 23(3), 183–188.
144. 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.
145. Lemke, N. C., Werner, C., Wiloth, S., Oster, P., Bauer, J. M., & Hauer, K. (2019). Transferability and sustainability of motor-cognitive dual-task training in patients with dementia: a randomized controlled trial. *Gerontology*, 65(1), 68–83.

Referencias Bibliográficas

146. Lephart, S. M., & Fu, F. H. (2000). Proprioception and neuromuscular control in joint stability. *Physical Rehabilitation of the Injured Athlete*, xxiv, 439 p. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-2411-0.00024-1>
147. Lephart, S. M., Myers, J. B., & Riemann, B. L. (2003). Role of proprioception in functional joint stability. *Orthopaedic Sports Medicine. 2nd Ed. Philadelphia, Pa: WB Saunders*, 397–416.
148. Lephart, S. M., Pincivero, D. M., Giraido, J. L., & Fu, F. H. (1997). The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *The American Journal of Sports Medicine*, 25(1), 130–137.
149. Lesinski, M., Hortobágyi, T., Muehlbauer, T., Gollhofer, A., & Granacher, U. (2015). Effects of balance training on balance performance in healthy older adults: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 45(12), 1721–1738.
150. Lezak, M. D., Howieson, D. B., Loring, D. W., & Fischer, J. S. (2004). *Neuropsychological assessment*. Oxford University Press, USA.
151. Lima, L. V, Abner, T. S. S., & Sluka, K. A. (2017). Does exercise increase or decrease pain? Central mechanisms underlying these two phenomena. *The Journal of Physiology*, 595(13), 4141–4150.
152. Lions, C., Bui Quoc, E., Wiener-Vacher, S., & Bucci, M. P. (2014). Postural control in strabismic children: importance of proprioceptive information. *Frontiers in Physiology*, 5, 156.

Referencias Bibliográficas

153. 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.
154. Liu, Y., & Lachman, M. E. (2020). Education and cognition in middle age and later life: The mediating role of physical and cognitive activity. *The Journals of Gerontology: Series B*, 75(7), e93–e104.
155. López, J. R., & Fernández, N. P. (2004). Caracterización de la interacción sensorial en posturografía. *Acta Otorrinolaringológica Española*, 55(2), 62–66.
156. 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.
157. Mallau, S., Vaugoyeau, M., & Assaiante, C. (2010). Postural strategies and sensory integration: no turning point between childhood and adolescence. *PloS One*, 5(9), e13078.
158. Mancini, M., Salarian, A., Carlson-Kuhta, P., Zampieri, C., King, L., Chiari, L., & Horak, F. B. (2012). ISway: a sensitive, valid and reliable measure of postural control. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 9(1), 1–8.
159. Mang, C. S., Campbell, K. L., Ross, C. J. D., & Boyd, L. A. (2013). Promoting neuroplasticity for motor rehabilitation after stroke: considering the effects of aerobic exercise and genetic variation on brain-derived neurotrophic factor. *Physical Therapy*, 93(12), 1707–1716.
160. Marigold, D. S., & Patla, A. E. (2008). Visual information from the lower visual field

Referencias Bibliográficas

- is important for walking across multi-surface terrain. *Experimental Brain Research*, 188(1), 23–31.
161. Massion, J. (1994). Postural control system. *Current Opinion in Neurobiology*, 4(6), 877–887.
162. Matthews, P. B. C. (2011). Muscle spindles: their messages and their fusimotor supply. *Comprehensive Physiology*, 189–228.
163. Maze, F. (2017). *Efectos de un entrenamiento propioceptivo y dos tratamientos de osteopatía sobre el sistema de control postural de jugadores de fútbol adolescentes: Estudio realizado mediante detened fluctuation analysis*. Universidad de Granada.
164. McCaskey, M. A., Schuster-Amft, C., Wirth, B., & de Bruin, E. D. (2015). Effects of proprioceptive exercises on pain and function in chronic neck-and low back pain rehabilitation: a systematic literature review. *Physiotherapy*, 101, e969–e970.
165. McCloskey, D. I. (1973). Differences between the senses of movement and position shown by the effects of loading and vibration of muscles in man. *Brain Research*, 61, 119–131.
166. McCulloch, K. (2007). Attention and dual-task conditions: physical therapy implications for individuals with acquired brain injury. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 31(3), 104–118.
167. McGibbon, C. A. (2003). Toward a better understanding of gait changes with age and disablement: neuromuscular adaptation. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 31(2),

Referencias Bibliográficas

102–108.

168. Mclsaac, T. L., Lamberg, E. M., & Muratori, L. M. (2015). Building a framework for a dual task taxonomy. *BioMed Research International*, 2015.

169. Medaglia, J. D., Pasqualetti, F., Hamilton, R. H., Thompson-Schill, S. L., & Bassett, D. S. (2017). Brain and cognitive reserve: translation via network control theory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 75, 53–64.

170. Mehdizadeh, H., Taghizadeh, G., Ghomashchi, H., Parnianpour, M., Khalaf, K., Salehi, R., Esteki, A., Ebrahimi, I., & 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.

171. Melián-Ortiz, A., Varillas-Delgado, D., Laguarda-Val, S., Rodríguez-Aparicio, I., Senent-Sansegundo, N., Fernández-García, M., & Roger-de Oña, I. (2019). Reliability and concurrent validity of the app Goniometer Pro vs Universal Goniometer in the determination of passive knee flexion. *Acta Ortopédica Mexicana*, 33(1), 18–23.

172. Merletti, R., & Parker, P. J. (2004). *Electromyography: physiology, engineering, and non-invasive applications* (Vol. 11). John Wiley & Sons.

173. Michaelidis, M., & Koumantakis, G. A. (2014). Effects of knee injury primary prevention programs on anterior cruciate ligament injury rates in female athletes in different sports: A systematic review. *Physical Therapy in Sport*, 15(3), 200–210.

174. Mickle, K. J., Munro, B. J., & Steele, J. R. (2011). Gender and age affect balance

Referencias Bibliográficas

performance in primary school-aged children. *Journal of Science and Medicine in Sport*.

<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.11.002>

175. Mir, S. M., Talebian, S., Naseri, N., & Hadian, M.-R. (2014). Assessment of knee proprioception in the anterior cruciate ligament injury risk position in healthy subjects: a cross-sectional study. *Journal of Physical Therapy Science*, 26(10), 1515–1518.

176. Montero-Odasso, M., Bergman, H., Phillips, N. A., Wong, C. H., Sourial, N., & Chertkow, H. (2009). Dual-tasking and gait in people with mild cognitive impairment. The effect of working memory. *BMC Geriatrics*, 9(1), 1–8.

177. Mora, M. L. A., Bolívar, N. J. R., Cárdenas, P. A. B., Caldas, N. E. C., Tavera, E. A. R., & Garzón, C. S. (2018). Métodos de evaluación de la propiocepción en deportistas. Revisión de la literatura. *Revista Digital: Actividad Física y Deporte*, 4(1).

178. Mourcou, Q., Fleury, A., Diot, B., & Vuillerme, N. (2016). iProprio: a Smartphone-based system to measure and improve proprioceptive function. *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2016 IEEE 38th Annual International Conference of The*, 2622–2625.

179. Nagano, Y., Ishida, K., Tani, T., Kawasaki, M., & Ikeuchi, M. (2016). Short and long-term effects of exergaming for the elderly. *SpringerPlus*, 5(1), 1–10.

180. Neisser, U. (2014). *Cognitive psychology: Classic edition*. Psychology Press.

181. Neumann, D. A. (2013). *Kinesiology of the Musculoskeletal System-E-Book: Foundations for Rehabilitation*. Elsevier Health Sciences.

Referencias Bibliográficas

182. Neumann, O. (2016). Beyond capacity: A functional view of attention. In *Perspectives on perception and action* (pp. 375–408). Routledge.
183. Newcomer, K., Laskowski, E. R., Yu, B., Larson, D. R., & An, K.-N. (2000). Repositioning error in low back pain: comparing trunk repositioning error in subjects with chronic low back pain and control subjects. *Spine*, *25*(2), 245.
184. Niessen, M. H. M., Veeger, D. H. E. J., & Janssen, T. W. J. (2009). Effect of body orientation on proprioception during active and passive motions. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, *88*(12), 979–985.
185. Noé, Frédéric, 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.
186. Noé, Frédéric, García-Massó, X., Delaygue, P., Melon, A., & Paillard, T. (2020). The influence of wearing ski-boots with different rigidity characteristics on postural control. *Sports Biomechanics*, *19*(2), 157–167.
187. Noé, Frederic, & Paillard, T. (2005). Is postural control affected by expertise in alpine skiing? *British Journal of Sports Medicine*, *39*(11), 835–837.
188. Noé, Frédéric, & Quaine, F. (2006). Insertion of the force applied to handles into centre of pressure calculation modifies the amplitude of centre of pressure shifts. *Gait & Posture*, *24*(3), 382–385.
189. Noguerras, M., & María, A. (2004). *Bases neurofisiológicas del equilibrio postural*.

Referencias Bibliográficas

190. Nolan, L., Grigorenko, A., & Thorstensson, A. (2005). Balance control: sex and age differences in 9-to 16-year-olds. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 47(7), 449–454.
191. Olivier, I, Palluel, E., Nougier, V., & Assaiante, C. (2013). *Autoevaluaciones del artículo: Evolución de las estrategias posturales desde la infancia a la adolescencia.*
192. Olivier, Isabelle, 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.
193. Oullier, O., Bardy, B. G., Stoffregen, T. A., & Bootsma, R. J. (2002). Postural coordination in looking and tracking tasks. *Human Movement Science*, 21(2), 147–167.
194. P. de Antolín. (1999). Reeducción propioceptiva, globalidad y TRAL. *Libro de Ponencias y Comunicaciones/VII Jornadas Nacionales de Fisioterapia Del Deporte, A Coruña, 23, 24 y 25 de Octubre de 1998*, 91–106.
195. Paillard, T., & Noé, F. (2015). Techniques and methods for testing the postural function in healthy and pathological subjects. *BioMed Research International*, 2015.
196. Palluel, E., Nougier, V., & Olivier, I. (2010). Postural control and attentional demand during adolescence. *Brain Research*, 1358, 151–159.
197. 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.

Referencias Bibliográficas

198. Paolucci, T., Baldari, C., Di Franco, M., Didona, D., Reis, V., Vetrano, M., Iosa, M., Trifoglio, D., Zangrando, F., & Spadini, E. (2016). A new rehabilitation tool in fibromyalgia: the effects of perceptive rehabilitation on pain and function in a clinical randomized controlled trial. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2016.
199. Papathanasiou, I. V., Rammogianni, A., Papagiannis, D., Tsaras, K., Kaberi, F., Kontopoulou, L., Neroliatsiou, A., & Fradelos, E. (2019). Quality of life among elderly population. *Mental Health: Global Challenges Journal*, 2(2).
200. Park, D. C. (2002). Mecanismos básicos que explican el declive del funcionamiento cognitivo con el envejecimiento. *Envejecimiento Cognitivo*, 3–22.
201. Park, J. H., Mancini, M., Carlson-Kuhta, P., Nutt, J. G., & Horak, F. B. (2016). Quantifying effects of age on balance and gait with inertial sensors in community-dwelling healthy adults. *Experimental Gerontology*. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2016.09.018>
202. Patel, P., Lamar, M., & Bhatt, T. (2014). Effect of type of cognitive task and walking speed on cognitive-motor interference during dual-task walking. *Neuroscience*, 260, 140–148.
203. Patla, A. E., & Greig, M. (2006). Any way you look at it, successful obstacle negotiation needs visually guided on-line foot placement regulation during the approach phase. *Neuroscience Letters*, 397(1–2), 110–114.
204. Patterson, K. K., Wong, J. S., Prout, E. C., & Brooks, D. (2018). Dance for the rehabilitation of balance and gait in adults with neurological conditions other than

Referencias Bibliográficas

- Parkinson's disease: a systematic review. *Heliyon*, 4(3), e00584.
205. Peña-Casanova, J., Guardia, J., Bertran-Serra, I., Manero, R. M., & Jarne, A. (1997). Versión abreviada del test Barcelona (I): subtests y perfiles normales. *NEUROLOGIA-BARCELONA*, 12, 99–111.
206. Pellecchia, G. L. (2003). Postural sway increases with attentional demands of concurrent cognitive task. *Gait & Posture*, 18(1), 29–34.
207. Peña-Casanova, J. (2005). *Test Barcelona revisado [Revised Barcelona Test]*. Barcelona: Masson.
208. Peña-Casanova, Jordi, Blesa, R., Aguilar, M., Gramunt-Fombuena, N., Gómez-Ansón, B., Oliva, R., Molinuevo, J. L., Robles, A., Barquero, M. S., & Antúnez, C. (2009). Spanish multicenter normative studies (NEURONORMA project): Methods and sample characteristics. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 24(4), 307–319.
209. Pérez, M. R., Rodríguez, C. R., & González, J. G. P. (2017). Revisión narrativa y desarrollo de un programa de intervención para la disminución de los efectos del Alzheimer a través de la práctica del Surf en Personas Mayores (Narrative review and development of an intervention program for reducing Alzheimer's eff. *Retos*, 32, 106–110.
210. Peterka, R. J. (2002). Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of Neurophysiology*, 88(3), 1097–1118.
211. Piccinini, G., Imbimbo, I., Ricciardi, D., Coraci, D., Santilli, C., MR, L. M., Loreti, C.,

Referencias Bibliográficas

- Vulpiani, M. C., Silveri, M. C., & Padua, L. (2017). The impact of cognitive reserve on the effectiveness of balance rehabilitation in Parkinson's disease. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine, 54*(4), 554–559.
212. Podsiadlo, D., & Richardson, S. (1991). The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society, 39*(2), 142–148.
213. Portellano, J. A. (2005). Cómo desarrollar la inteligencia. *Entrenamiento Neuropsicológico de La Atención y Las Funciones. Madrid, SP: Somos.*
214. Priest, A. W., Salamon, K. B., & Hollman, J. H. (2008). Age-related differences in dual task walking: a cross sectional study. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation, 5*(1), 1–8.
215. Prieto Mondragón, L. D. P., Giraldo, A. F., & Salas, M. F. (2019). *Programa de entrenamiento propioceptivo y su importancia en las capacidades coordinativas en fútbol femenino.*
216. Proske, U., & Gandevia, S. C. (2012). The proprioceptive senses: their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiological Reviews, 92*(4), 1651–1697.
217. Purves, D. A., Fitzpatrick, G. J., Hall, D., Lamantia, W. C., Mcnamara, A.-S., & Williams, J. O. (2008). *Neurociencia* (Issue 577.25 NEU).
218. Qu, X. (2014). Age-related cognitive task effects on gait characteristics: do

Referencias Bibliográficas

different working memory components make a difference? *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 11(1), 1–9.

219. Quiroga Murcia, C., Kreutz, G., Clift, S., & Bongard, S. (2010). Shall we dance? An exploration of the perceived benefits of dancing on well-being. *Arts & Health*, 2(2), 149–163.

220. Raffegeau, T. E., Krehbiel, L. M., Kang, N., Thijs, F. J., Altmann, L. J. P., Cauraugh, J. H., & Hass, C. J. (2019). A meta-analysis: Parkinson's disease and dual-task walking. *Parkinsonism & Related Disorders*, 62, 28–35.

221. Ragnarsdóttir, M. (1996). The concept of balance. *Physiotherapy*, 82(6), 368–375.

222. Reed, S. K. (2012). *Cognition: Theories and applications*. CENGAGE learning.

223. Ribeiro, F., & Oliveira, J. (2011). *Factors influencing proprioception: what do they reveal?* (Vol. 14). chapter.

224. Rice, H., Nunns, M., House, C., Fallowfield, J., Allsopp, A., & Dixon, S. (2013). High medial plantar pressures during barefoot running are associated with increased risk of ankle inversion injury in Royal Marine recruits. *Gait & Posture*, 38(4), 614–618.

225. 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.

226. Riva, D., Bianchi, R., Rocca, F., & Mamo, C. (2016). Proprioceptive Training and Injury Prevention in a Professional Men's Basketball Team: A Six-Year Prospective Study. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(2), 461–475.

Referencias Bibliográficas

227. Rival, C., Ceyte, H., & Olivier, I. (2005). Developmental changes of static standing balance in children. *Neuroscience Letters*, *376*(2), 133–136.
228. Rj, S., & Sternberg, K. (2016). Cognitive psychology. *Nelson Education*.
229. Rodríguez Álvarez, M., & Sánchez Rodríguez, J. L. (2004). Reserva cognitiva y demencia. *Anales de Psicología*.
230. Røijezon, U., Clark, N. C., & Treleaven, J. (2015). Proprioception in musculoskeletal rehabilitation. Part 1: Basic science and principles of assessment and clinical interventions. *Manual Therapy*, *20*(3), 368–377.
231. Rypma, B., Berger, J. S., Prabhakaran, V., Bly, B. M., Kimberg, D. Y., Biswal, B. B., & D'Esposito, M. (2006). Neural correlates of cognitive efficiency. *Neuroimage*, *33*(3), 969–979.
232. Saavedra, P., Coronado, R., Chávez, D., Del Pilar, M., Renán, S., & Granados, R. (2003). Relación entre fuerza muscular y propiocepción de rodilla en sujetos asintomáticos Revista Mexicana de. *Revista Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación*, *15*(15), 17–23.
233. Samite, L. D., & Schipani, J. (2016). *Flexibilidad cognitiva y reserva cognitiva en adultos y adultos mayores*.
234. Sánchez-Lastra, M. A., Varela, S., Cancela, J. M., & Ayán, C. (2019). Improving children's coordination with proprioceptive training. *Apunts. Educació Física i Esports*, *136*, 22–35.

Referencias Bibliográficas

235. 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.
236. Scarpina, F., & Tagini, S. (2017). The stroop color and word test. *Frontiers in Psychology, 8*, 557.
237. Schacter, D. L., Gilbert, D. T., & Wegner, D. M. (2009). *Introducing psychology*. Macmillan.
238. Schaefer, S., Krampe, R. T., Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (2008). Age differences between children and young adults in the dynamics of dual-task prioritization: Body (balance) versus mind (memory). *Developmental Psychology, 44*(3), 747.
239. Schaefer, S., Schellenbach, M., Lindenberger, U., & Woollacott, M. (2015). Walking in high-risk settings: do older adults still prioritize gait when distracted by a cognitive task? *Experimental Brain Research, 233*(1), 79–88.
240. Schmid, M., Conforto, S., Lopez, L., & D'Alessio, T. (2007). Cognitive load affects postural control in children. *Experimental Brain Research, 179*(3), 375–385.
241. Serrano Barceló, M. del M. (2018). *Eficacia del entrenamiento de la propiocepción en la prevención de la lesión del LCA en mujeres futbolistas*.
242. Shaffer, S. W., & Harrison, A. L. (2007). Aging of the somatosensory system: a translational perspective. *Physical Therapy, 87*(2), 193–207.
243. Shepard, N. T. (2002). Evaluation and management of balance system disorders.

Referencias Bibliográficas

Issues in Hand Book of Clinical Audiology, 5, 390–407.

244. Sherrington, C. S. (1906). *Yale University Mrs. Hepsa Ely Silliman memorial lectures. The integrative action of the nervous system*. New Haven, CT, US: Yale University Press. [http://dx. doi. org/10.1037/13798-000](http://dx.doi.org/10.1037/13798-000).

245. Sherrington, C., Whitney, J. C., Lord, S. R., Herbert, R. D., Cumming, R. G., & Close, J. C. T. (2008). Effective exercise for the prevention of falls: a systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Geriatrics Society*, 56(12), 2234–2243.

246. 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.

247. Shin, S.-S., & An, D.-H. (2014). The effect of motor dual-task balance training on balance and gait of elderly women. *Journal of Physical Therapy Science*, 26(3), 359–361.

248. Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2007). *Motor control: translating research into clinical practice*. Lippincott Williams & Wilkins.

249. 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–M240.

250. Shumway, C., & Woollacott, M. H. (2001). *Motor control: theory and practical applications*. A Wolters Kluwer Company. 614p.

Referencias Bibliográficas

251. Silsupadol, P., Shumway-Cook, A., Lugade, V., van Donkelaar, P., Chou, L.-S., Mayr, U., & Woollacott, M. H. (2009). Effects of single-task versus dual-task training on balance performance in older adults: a double-blind, randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 90*(3), 381–387.
252. Solana-Tramunt, M. (2011). *Entrenament de la propiocepció conscient de la columna vertebral lumbar: Una aplicació a la natació subaquàtica*. 316.
253. Sprenger, A., Wojak, J. F., Jandl, N. M., & Helmchen, C. (2017). Postural control in bilateral vestibular failure: its relation to visual, proprioceptive, vestibular, and cognitive input. *Frontiers in Neurology, 8*, 444.
254. Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia, 47*(10), 2015–2028.
255. Suner-Keklik, S., Cobanoglu-Seven, G., Kafa, N., Ugurlu, M., & Guzel, N. A. (2017). The validity and reliability of knee proprioception measurement performed with inclinometer in different positions. *Journal of Sport Rehabilitation, 1*–15.
256. 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*, 618.
257. Taguchi, K., & Igarashi, M. (1994). *Vestibular and neural front: proceedings of the 12th International Symposium on Posture and Gait, Matsumoto, 3-7 October 1994* (Vol. 588). Elsevier Science Ltd.
258. Teasdale, N., & Simoneau, M. (2001). Attentional demands for postural control:

Referencias Bibliográficas

- the effects of aging and sensory reintegration. *Gait & Posture*, 14(3), 203–210.
259. Thaut, M. H. (2003). Neural basis of rhythmic timing networks in the human brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999(1), 364–373.
260. Tinetti, M. E., Baker, D. I., McAvay, G., Claus, E. B., Garrett, P., Gottschalk, M., Koch, M. L., Trainor, K., & Horwitz, R. I. (1994). A multifactorial intervention to reduce the risk of falling among elderly people living in the community. *New England Journal of Medicine*, 331(13), 821–827.
261. Tirapu-Ustárroz, 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.
262. Tokur, D., Grimmer, M., & Seyfarth, A. (2020). Review of balance recovery in response to external perturbations during daily activities. *Human Movement Science*, 69, 102546.
263. Tombaugh, T. N. (2004). Trail Making Test A and B: normative data stratified by age and education. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 19(2), 203–214.
264. Torres, R., Trindade, R., & Gonçalves, R. S. (2016). The effect of kinesiology tape on knee proprioception in healthy subjects. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 20(4), 857–862.
265. Tracy, B. L., & Enoka, R. M. (2002). Older adults are less steady during submaximal isometric contractions with the knee extensor muscles. *Journal of Applied Physiology*,

Referencias Bibliográficas

92(3), 1004–1012.

266. Trelles, L., & Thorne, C. (1986). La cognición: el punto de vista neurológico. *Revista de Psicología*, 4(2), 143–156.

267. Trombetti, A., Hars, M., Herrmann, F. R., Kressig, R. W., Ferrari, S., & Rizzoli, R. (2011). Effect of music-based multitask training on gait, balance, and fall risk in elderly people: a randomized controlled trial. *Archives of Internal Medicine*, 171(6), 525–533.

268. 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.

269. Vaillant, J., Coisne, A., & Dumolard, A. (2017). Alteration of neck proprioceptive capacity in women with fibromyalgia. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 60, e18.

270. van Melick, N., Meddeler, B. M., Hoogeboom, T. J., Nijhuis-van der Sanden, M. W. G., & van Cingel, R. E. H. (2017). How to determine leg dominance: The agreement between self-reported and observed performance in healthy adults. *PloS One*, 12(12), e0189876.

271. Vanmeerhaeghe, A. F., Rodriguez, D. R., Tutusaus, L. C., Calafat, C. B., Riera, M. L., & Vidal, A. M. (2009). Diferencias en la estabilidad postural estática y dinámica según sexo y pierna dominante. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 44(162), 74–81.

272. Varela-Vásquez, L. A., Minobes-Molina, E., & Jerez-Roig, J. (2020). Dual-task

Referencias Bibliográficas

exercises in older adults: a structured review of current literature. *Journal of Frailty, Sarcopenia and Falls*, 5(2), 31.

273. Vaugoyeau, M., Viel, S., Amblard, B., Azulay, J. P., & Assaiante, C. (2008). Proprioceptive contribution of postural control as assessed from very slow oscillations of the support in healthy humans. *Gait & Posture*, 27(2), 294–302.

274. Velastegui Yunda, Z. F. (2018). *Ejercicios de equilibrio como método de prevención del síndrome de caída para los usuarios del proyecto de desarrollo integral del “adulto mayor” de la parroquia Flores–gad-r*. Universidad Nacional de Chimborazo, 2018.

275. Verkhoshansky, Y. (1998). Main features of a modern scientific sports training theory. *New Studies in Athletics*, 13, 9–20.

276. Viel, S., Vaugoyeau, M., & Assaiante, C. (2009). Adolescence: a transient period of proprioceptive neglect in sensory integration of postural control. *Motor Control*, 13(1), 25–42.

277. Villarrasa-Sapiña, I., Estevan, I., Gonzalez, L.-M., Marco-Ahulló, A., & García-Massó, X. (2019). Dual task cost in balance control and stability in children from 4–7 years old. *Early Child Development and Care*, 1–10.

278. Voelcker-Rehage, C., Stronge, A. J., & Alberts, J. L. (2006). Age-related differences in working memory and force control under dual-task conditions. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 13(3–4), 366–384.

279. Voss, M. W., Prakash, R. S., Erickson, K. I., Basak, C., Chaddock, L., Kim, J. S., Alves,

Referencias Bibliográficas

- H., Heo, S., Szabo, A., & White, S. M. (2010). Plasticity of brain networks in a randomized intervention trial of exercise training in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience, 2*, 32.
280. Wang, H., Ji, Z., Jiang, G., Liu, W., & Jiao, X. (2016). Correlation among proprioception, muscle strength, and balance. *Journal of Physical Therapy Science, 28*(12), 3468–3472.
281. 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.
282. Weerakkody, N. S., Blouin, J. S., Taylor, J. L., & Gandevia, S. C. (2008). Local subcutaneous and muscle pain impairs detection of passive movements at the human thumb. *The Journal of Physiology, 586*(13), 3183–3193.
283. Werner, K., Raab, M., & Fischer, M. H. (2019). Moving arms: the effects of sensorimotor information on the problem-solving process. *Thinking & Reasoning, 25*(2), 171–191.
284. Westcott, S. L., & Burtner, P. (2004). Postural control in children: implications for pediatric practice. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics, 24*(1–2), 5–55.
285. Wilde, N. J., Strauss, E., & Tulskey, D. S. (2004). Memory span on the Wechsler scales. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 26*(4), 539–549.
286. Williams, A. M., Davids, K., & Williams, J. G. P. (1999). *Visual perception and action in sport*. Taylor & Francis.

Referencias Bibliográficas

287. 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.
288. Wilson, R. S., Hebert, L. E., Scherr, P. A., Barnes, L. L., De Leon, C. F. M., & Evans, D. A. (2009). Educational attainment and cognitive decline in old age. *Neurology*, *72*(5), 460–465.
289. 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.
290. Witchalls, J., Blanch, P., Waddington, G., & Adams, R. (2012). Intrinsic functional deficits associated with increased risk of ankle injuries: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, *46*(7), 515–523.
291. Wolff, P., & Shepard, J. (2013). Causation, touch, and the perception of force. In *Psychology of learning and motivation* (Vol. 58, pp. 167–202). Elsevier.
292. Wollesen, B., Wildbrecht, A., van Schooten, K. S., Lim, M. L., & Delbaere, K. (2020). The effects of cognitive-motor training interventions on executive functions in older people: a systematic review and meta-analysis. *European Review of Aging and Physical Activity*, *17*(1), 1–22.
293. Wolpert, D. M., Diedrichsen, J., & Flanagan, J. R. (2011). Principles of sensorimotor learning. *Nature Reviews Neuroscience*, *12*(12), 739–751.

Referencias Bibliográficas

294. 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.
295. 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.
296. Wulf, G., McNevin, N., & Shea, C. H. (2001). The automaticity of complex motor skill learning as a function of attentional focus. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A, 54*(4), 1143–1154.
297. Zech, A., Huebscher, M., Vogt, L., Banzer, W., Hänsel, F., & Pfeifer, K. (2009). Neuromuscular training for rehabilitation of sports injuries: a systematic review. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 41*(10), 1831–1841.

10. ANEXOS:

10.1 IPAQ (Anexo 1)

Generalitat de Catalunya
Departament de Sanitat i Seguretat Social
Direcció General de Salut Pública

Encuestador/a

Número de cuestionario

<p>Nombre</p> <p>Apellidos</p>
--

**CUESTIONARIO INTERNACIONAL DE ACTIVIDAD FÍSICA. IPAQ:
VERSIÓN CORTA**

Nos interesa conocer el tipo de actividad física que la población realiza en su vida diaria. Este estudio forma parte de un estudio a gran escala que se lleva a cabo en muchos países del mundo. Sus respuestas nos permitirán comparar la actividad física que se realiza en Cataluña respecto a la gente de otros países.

Las preguntas se refieren al tiempo que ha empleado haciendo actividad física en **los últimos siete días (desde elhasta el.....)**. Se incluyen preguntas sobre la actividad física que realiza en el trabajo, en casa o en el jardín, para desplazarse de un lugar a otro, y en su tiempo libre, si hace actividad física de ocio, ejercicio físico o practica algún deporte.

Sus respuestas son importantes.

Por favor, conteste todas las preguntas aunque no se considere una persona físicamente activa.

MUCHAS GRACIAS POR PARTICIPAR-

Anexos

Al contestar las preguntas,

- La actividad física **vigorosa** se refiere a aquellas actividades que le suponen un esfuerzo físico duro y le hacen respirar mucho más fuerte de lo normal.
- La actividad física **moderada** se refiere a aquellas actividades que le suponen un esfuerzo físico moderado y que le hacen respirar algo más fuerte de lo normal.

1a. En los últimos 7 días, ¿cuántos días ha realizado actividad física **vigorosa** como levantar pesos pesados, cavar, trabajo intenso en la construcción, clases de aeróbic o similar o bicicleta a ritmo rápido?

Piense *solamente* en aquella actividad física que duró como mínimo 10 minutos.

§días a la semana ⇒

o bien

ningún día a la semana.

1b. En total, ¿cuanto tiempo suele estar haciendo actividad física vigorosa en uno de estos días?

horas

minutos

§2a. De nuevo, piense *sólo* en aquella actividad física que duró como mínimo 10 minutos. En los últimos 7 días, ¿cuántos días ha realizado actividad física **moderada** como transportar pesos ligeros, bicicleta a ritmo regular, dobles de tenis?. No tenga en cuenta el caminar.

§días a la semana

o bien

ningún día a la semana

Anexos

2b. En total, ¿cuanto tiempo suele estar haciendo actividad física moderada en uno de estos días?

horas

minutos

§3a. En los últimos 7 días, ¿cuántos días ha **caminado** al menos 10 minutos?. Cuento si camina en su trabajo y en casa, para ir de un sitio a otro y si camina en su tiempo de ocio, como deporte, o para hacer ejercicio o para pasar el tiempo.

§días a la semana

o bien

ningún día a la semana

La última pregunta se refiere al tiempo que está **sentado** en los días laborables en el trabajo, en casa, mientras asiste a clase, y en su tiempo libre. Cuento el tiempo que está sentado en el despacho, de visita en casa de amigos, leyendo cuando viaja en autobús o sentado o tumbado viendo la televisión.

3b. En total, ¿cuanto tiempo suele estar caminando en uno de estos días?

horas

minutos

§4. En los últimos 7 días, ¿cuánto tiempo en total ha estado ***sentado*** en un día **laborable**?

horas **minutos**

Aquí se acaba el cuestionario, muchas gracias por participa

Anexos

Anexos

10.2. Escala de Reserva Cognitiva (Anexo 2)

Escala de Reserva Cognitiva

Edad: _____ Sexo: _____
 Años de educación formal (ej. desde 1º de E.G.B. a C.O.U.=12 años): _____
 Máxima titulación obtenida (ej. graduado escolar, Ingeniero Técnico, etc.): _____
 Profesión ejercida durante mayor tiempo (ej. Maestro Secundaria): _____

La Escala de Reserva Cognitiva pretende medir cómo de activo ha sido y es su estilo de vida. A continuación, se presenta una serie de actividades referidas a tres etapas de su vida:

JUVENTUD (18-35 años) ADULTEZ (36-64 años) MADUREZ (A partir de los 65 años)

Para responder **con qué frecuencia** realizaba y realiza cada una de las siguientes actividades en cada etapa de su vida, tenga en cuenta el siguiente código de respuesta:

- 0 = Nunca
- 1 = Una o varias veces al año
- 2 = Una o varias veces al mes
- 3 = Una o varias veces a la semana
- 4 = Tres veces o más a la semana, siempre que me surge la oportunidad

ACTIVIDADES DE LA VIDA DIARIA

Pregunta: ¿Con qué frecuencia realizaba (Juventud y Adultez) y realizo (Actualmente) cada una de las siguientes actividades?

	Juventud	Adultez	Madurez
<i>Ejemplo</i> : Controlar mis asuntos personales.....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
1. Controlar mis asuntos personales (ej. administración de medicinas, cuándo tengo cita con el médico, qué ropa vestir cada día, reservas en hoteles, etc.).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
2. Controlar los asuntos económicos de mi hogar (ej. recibos, hipoteca, inversiones, etc.).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
3. Realizar tareas domésticas (ej. hacer la comida, limpiar el polvo, recoger la casa, poner la lavadora, hacer la compra, etc.).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
4. Utilizar las nuevas tecnologías del momento básicamente (ej. contestar al teléfono o al móvil, poner la televisión, cambiar los canales, etc.).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4

FORMACIÓN - INFORMACIÓN

5. Realizar cursos, talleres o similares (ej. de informática, de idiomas, FPO etc.).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
6. Hacer uso de otro idioma o dialecto.....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
7. Estar informado/a (ej. escuchar la radio, ver el telediario, leer el periódico, etc.).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
8. Utilizar las nuevas tecnologías del momento y hacer uso de ellas de una forma más compleja (ej. mando a distancia para teletexto o para programar; móvil para escribir mensajes; navegar por Internet, reservas online, etc.).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4

HOBBIES - AFICIONES

9. La lectura como afición (ej. periódicos, revistas, libros).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
10. La realización de pasatiempos (ej. crucigramas, sopa de letras, cruzadas, etc.) y/o juegos de mesa (cartas, damas, dominó, ajedrez, etc.).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
11. Escribir como afición (ej. cartas, diario personal, poesía, etc.).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
12. Escuchar música o ver la televisión (ej. música clásica o de la época, noticias, concursos, entrevistas, etc.).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
13. Tocar algún instrumento musical (ej. guitarra, flauta, etc.).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
14. Coleccionar objetos (ej. sellos, monedas, postales, etc.).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
15. Viajar o realizar excursiones de forma activa (ej. echando fotos, visitando monumentos, mostrando interés por la cultura del lugar y las costumbres, etc.).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
16. Asistir a algún evento cultural (ej. exposiciones, teatro, cine, visita a museos, conciertos).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
17. Realizar manualidades y/o jardinería (ej. trabajos de marquetería, costura, ganchillo, poda de plantas, etc.).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
18. Cocinar como afición (ej. realizar nuevas recetas, probar otras formas de cocinar los alimentos, etc.).....	... 0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
19. La pintura y/o la fotografía (ej. pintar cuadros, hacer fotos de los sitios que he visitado, realizar reportajes, retoques digitales, etc.).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
20. Ir de compras de forma activa (ej. comparando precios, probando nuevos productos, memorizando la lista de la compra, etc.).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
21. Realizar alguna actividad física (ej. aerobico, correr, fútbol, caminar, etc.).....	... 0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4

VIDA SOCIAL

22. Visitar y/o ser visitado/a por familiares, amigos, vecinos, etc (ej. reuniones sociales, comidas familiares, etc.).....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
23. Realizar actividades religiosas, de convivencia, de voluntariado, etc.....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4
24. Relacionarme con personas de otras generaciones.....	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4	0 1 2 3 4

Anexos

10.3. Programa de entrenamiento Estudio 3

PRIMERA SESIÓN: individual

Música: sube la mano pa arriba (3min28s); saltando King África (3min37); Échame la culpa Luis Fonsi (3min30s); Una lluna al aigua (4min27s); Despacito (4min42s); Qué bonito es querer (4min34s).

1. Primer compás:

- a. En cuatro tiempos andamos hacia delante, en cuatro tiempos nos ponemos de puntillas.
- b. En cuatro tiempos andamos hacia atrás, en cuatro tiempos nos ponemos a la pata coja sobre un pie.
- c. Igual que el primero.
- d. Igual que el Segundo pero con la pierna contraria.

2. Segundo compás:

- a. Cuatro tiempos step touch lateral, cuatro tiempos un cuarto de sentadilla.
- b. Cuatro tiempos step touch volviendo al punto de origen, cuatro tiempos cuarto de sentadilla.
- c. Igual hacia delante.
- d. Igual hacia atrás.

3. Tercer compás:

- a. Estrella de cuatro puntas en ocho tiempos (adelante, al lado, detrás, al lado contrario).

Anexos

- b. Igual volviendo al sitio de partida.
- c. Estrella de cuatro puntas pie contrario.
- d. Igual volviendo al sitio de partida.

4. Cuarto compás:

- a. Twists hacia la derecha.
- b. Twist hacia delante.
- c. Twist hacia la izquierda.
- d. Twist hacia atrás.

5. Quinto compás:

- a. Rock and roll con pierna derecha levantada hacia la derecha
- b. Igual hacia la izquierda.
- c. Igual haciendo un círculo hacia la derecha.
- d. Igual dando la vuelta hacia la izquierda.

SEGUNDA SESIÓN: por parejas

1. Primer compás:

- a. Dado de la mano con la pareja, 3 pasos laterales + elevación de una rodilla.
- b. Hacia el otro lado igual.
- c. Hacia delante + elevación de ambas rodillas
- d. Hacia detrás + elevación de ambas rodillas.

2. Segundo compás:

- a. Por parejas de frente realizar una sentadilla subiendo y bajando.

Anexos

- b. Igual pero mirando hacia delante.
- c. Igual pero con las espaldas pegadas.
- d. Igual dando la espalda al monitor.

3. Tercer compás:

- a. Desequilibrios con los pies apoyados echar el peso hacia delante y aguanta la compañera.
- b. Igual la otra compañera.
- c. Igual a la pata coja pierna hábil.
- d. Igual la otra compañera.

4. Cuarto compás:

- a. Desequilibrio con el hombro pegado y aguantar el peso de la compañera.
- b. Igual la otra compañera.
- c. Igual levantando la pierna que se queda alejada de la compañera.
- d. Igual la otra compañera.

5. Quinto compás:

- a. Baile entrelazados con las manos.
- b. Igual girando sobre una pierna.
- c. Chocando los pies del compañero.
- d. Baile entrelazados con las manos otra vez.

TERCERA SESIÓN: por tríos

Música: vivir mi vida Marc Anthony (4min); Music de Carrer Txarango (4min19s);
Marcha, Marcha (4min56s); Bésame David Bisbal (3min26s); Bailando por ahí Juan
Magan (3min); Lloverá y lloveré La pegatina (2min57s)

1. Primer compás:

- a. Conga elevando alternativamente las piernas y con las manos en el de
delante.
- b. Lo mismo con un brazo arriba y el otro apoyado en el compañero.
- c. Igual con el otro brazo.
- d. Conga con 3 patadas de cada pierna.

2. Segundo compás:

- a. Cogidos de la mano con los codos extendidos en triangulo, sentadillas.
- b. Igual con una pierna.
- c. Igual con la otra pierna.
- d. Con una mano en el centro (modo estrella) cambiando a los 4 tiempos.

3. Tercer compás:

- a. Sentadillas con las espaldas pegadas.
- b. Igual pero cuando llegues abajo levantas una pierna.
- c. Igual con la otra pierna.

Anexos

- d. Sentadillas y cuando llegues abajo empujas con las espaldas de los compañeros.

4. Cuarto compás:

- a. Equilibrios agarrados de las manos en triangulo, echando la pierna hacia atrás.
- b. Aguantar en 7 y volver al inicio.
- c. Igual con la otra pierna.
- d. Aguantar con la otra pierna y volver.

5. Quinto compás:

- a. Baile chocando pies en el centro sin agarrar a los compañeros.
- b. igual.
- c. Chocando con los compañeros de los lados un pie y otro.
- d. Igual.

CUARTA SESIÓN: por grupos de 4

1. Primer compás:

- a. Sardana hacia a un lado todos agarrados.
- b. Aguantar levantando rodilla en 8 con los brazos arriba.
- c. Sardana hacia el otro lado.
- d. Aguantar levantando rodilla.

2. Segundo compás:

- a. Sardana hacia la derecha y sentadilla en 4 tiempo.

Anexos

- b. Igual hacia el otro lado.
- c. Sardana otra vez sentadilla una pierna.
- d. Igual hacia el otro lado la otra pierna para la sentadilla.

3. Tercer compás:

- a. Fila cogiendo pierna contraria a la mano que agarra el hombro.
- b. Igual.
- c. Cambio de sentido y cambio de agarrar la pierna contraria.
- d. Igual.

4. Cuarto compás:

- a. Twist en corro agarrados desplazándose.
- b. Igual hacia el otro lado.
- c. En el sitio twist sobre una pierna.
- d. Igual con la otra pierna.

5. Quinto compás:

Pasillo de los compañeros dando palmas y levantando las piernas alternativamente, mientras los compañeros por grupos salen y hacen los pasos que ellos quieran.

11. TRABAJOS PUBLICADOS Y/O ENVIADOS A PUBLICAR

El estudio 1 titulado “El papel mediador de la visión en la relación entre el control postural y la propiocepción”, ha sido enviado a la revista Motor Control.

Motor Control



Is there a link between improved postural control and proprioception? A cross-sectional study.

Journal:	<i>Motor Control</i>
Manuscript ID	MC.2020-0099
Manuscript Type:	Article
Keywords:	motor control, Romberg test, repositioning error, knee, perceptual skills training, injury prevention

SCHOLARONE™
Manuscripts

VITA

Ainhoa Nieto Guisado es una apasionada del deporte y del baloncesto en particular desde muy pequeña gracias a la vinculación familiar con este deporte. Desde su nacimiento, en una localidad Extremeña, Villanueva de la Serena, ha estado vinculada al deporte en general, pues sus padres, uno de ellos entrenador, y otro árbitro de baloncesto, le inculcaron que los valores que cualquier deporte ofrece te marcan el resto de tu vida. Gracias a ellos probó diferentes disciplinas deportivas, hasta finalmente decantarse por el Baloncesto, su gran pasión. Siempre ha tenido claro que su vida tenía que estar ligada al deporte de una manera u otra, pues desde muy pequeña ha soñado con ser entrenadora o preparadora física de grandes deportistas.

Es Graduada en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte por la Universidad de Extremadura, Cáceres; Post Grado en Especialista Universitario en Preparación Física y Entrenamiento Personal por la Universidad de Extremadura; Máster en Entrenamiento, Actividad Física y Salud por la Universidad Ramón Llull; y Doctoranda en Ciencias de la Educación del Deporte por la Universidad Ramón Llull, Blanquerna-URL.

Ainhoa actualmente reside en Barcelona, donde se dedica a la realización de su doctorado y a la vez es coordinadora del servicio de comedor del colegio Sagrat Cor de Sarrià. Es entrenadora de baloncesto de diferentes campus, entre ellos los del exjugador de la NBA José Manuel Calderón y ponente en algún congreso internacional de ciencias del deporte, entre ellos ECSS Dublín y Praga.

