



UNIVERSIDAD DE JAÉN

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA SALUD

TESIS DOCTORAL:

**FISIOTERAPIA INTEGRAL EN
PATOLOGÍA DE PIE Y TOBILLO**

PRESENTADA POR:

ALEJANDRO ESTEPA GALLEGO

DIRIGIDA POR:

DR. D. DAVID CRUZ DÍAZ

JAÉN, 10 DE FEBRERO DE 2021

ISBN

Es fácil caminar donde hay luz, lo difícil es caminar en la oscuridad

(Alejandro Estepa)

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por estar siempre apoyándome de manera incondicional.

Gracias por ayudarme a conseguirlo

A mi hermano, por ser el hermano que todo el mundo querría tener y del que me siento infinitamente orgulloso. Gracias por ser mi motivación

A Elena, por ser mi ejemplo de constancia y superación por conseguir los sueños. Gracias por impulsarme siempre a alcanzar mi mejor versión

A mis amigos de siempre, que comprenden que a veces pase semanas sin escribirles, pero después todo sigue como si fuera ayer. Gracias por aceptarme tal como soy

A mis amigos emprendedores, que son fuente de motivación e inspiración para seguir en el camino a la excelencia. Gracias por aparecer en mi camino

A mi director, David, porque sin él ahora mismo no estaría en este punto.

Gracias por todo ese apoyo y buenos consejos

A todos los fisioterapeutas, podólogos y entrenadores que apoyan cada paso que doy. Gracias por estar ahí aportándome energía a diario

ABREVIATURAS

ALM: Arco Longitudinal Medial

ANOVA: Analysis of Variance

ANT: Anterior

BoS: Base of Support

BT: Balance Training

BTSV: Balance Training Stroboscopic Vision

CAI: Chronic Ankle Instability

CAIT: Cumberland Ankle Instability Tool

CoP: Center of Pressure

DFROM: Dorsiflexion Range of Motion

EM: Escala Manchester

ES: Effect Sizes

FAAM: Foot and Ankle Ability Measure

FAAM-S: Foot and Ankle Ability Measure and Sport

GC: Grupo Control

GE: Grupo Experimental

GF: Grupo de Entrenamiento de Fuerza

GN: Grupo de Entrenamiento Neuromuscular

HAV: Hallux Abducto Valgus

LCA: Ligamento Cruzado Anterior

LoS: Limits of Stability

LPAA: Ligamento Peroneo-Astragalino Anterior

LPC: Ligamento Peroneo Calcaneo

MCID: Minimal Clinically Important Difference

OA: Ojos Abiertos

OC: Ojos Cerrados

PL: Posterolateral

PM: Posteromedial

RPG: Reeduación Postural Global

SEBT: Star Excursion Balance Test

SNC: Sistema Nervioso Central

SV: Stroboscopic Vision

WBLT: Weight Bearing Lunge Test

ÍNDICE

LISTA DE PUBLICACIONES.....	1
CAPÍTULO 1: RESUMEN.....	3
1. RESUMEN.....	5
1.1. Objetivos.....	5
1.1.1. Estudio 1: Efectos de la Reeducación Postural Global sobre el control postural, el equilibrio dinámico y el rango de movimiento del tobillo en pacientes con Hallux Abducto Valgus. Ensayo Controlado Aleatorizado.	
1.1.2. Estudio 2: Efectos a corto plazo del entrenamiento del equilibrio con visión estroboscópica en pacientes con inestabilidad crónica de tobillo. Ensayo controlado aleatorizado con simple ciego.	
1.1.3. Estudio 3: Efectos del entrenamiento neuromuscular vs entrenamiento de fuerza en inestabilidad crónica de tobillo. Ensayo controlado aleatorizado.	
1.2. Metodología	7
1.3. Resultados	8
1.4. Conclusiones.....	9
1.5. Palabras clave	9
CAPÍTULO 2: INTRODUCCIÓN	13
2. INTRODUCCIÓN.....	15
2.1. Hallux Abducto Valgus	16
2.1.1. Definición y epidemiología.....	16
2.1.2. Clasificación	17
2.1.3. Factores asociados.....	18
2.1.4. Consecuencias.....	19
2.1.5. Tipos de abordaje	21
2.2. Esguinces e Inestabilidad Crónica de Tobillo.....	23
2.2.1. Definición y epidemiología	23

2.2.2.	Clasificación	24
2.2.3.	Consecuencias	25
2.2.4.	Factores asociados	26
2.2.5.	... Control postural.....	32
2.2.6.	Tipos de abordaje	35
CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN		39
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	41
CAPÍTULO 4: OBJETIVOS.....		43
4.	OBJETIVOS	45
4.1.	Objetivo general.....	45
4.2.	Objetivos específicos	45
CAPÍTULO 5: MATERIAL Y MÉTODOS		47
5.	MATERIAL Y MÉTODOS	49
5.1.	Diseño	49
5.2.	Criterios de inclusión y exclusión.....	50
5.3.	Participantes y aleatorización	51
5.4.	Medidas de resultado.....	52
5.5.	Intervención.....	54
5.6.	Análisis estadístico	57
CAPÍTULO 6: RESULTADOS		61
6.	RESULTADOS.....	63
CAPÍTULO 7: DISCUSIÓN		65
7.	DISCUSIÓN	67
7.1.	Control Postural Estático	67
7.2.	Equilibrio dinámico	69
7.3.	DFROM de tobillo.....	71
7.4.	Sensación subjetiva de inestabilidad	72
7.5.	Estado funcional.....	74
CAPÍTULO 8: LIMITACIONES Y PROSPECTIVA		77
8.	LIMITACIONES Y PROSPECTIVA.....	79

CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES.....	81
9. CONCLUSIONES	83
CAPÍTULO 10: ARTÍCULOS	85
10. ARTÍCULOS	87
10.1. Artículo I.....	87
10.2. Artículo II	101
10.3. Artículo III.....	117
BIBLIOGRAFÍA.....	133
11. BIBLIOGRAFÍA.....	135
ANEXOS.....	145
12. ANEXOS	
12.1. Aprobación comité de ética	147
12.2. Consentimiento informado	149

LISTA DE PUBLICACIONES

I. Effects of global postural reeducation on postural control, dynamic balance, and ankle range of motion in patients with hallux abducto valgus. A randomized controlled trial.

II. Short-Term Effects of Balance Training with Stroboscopic Vision for Patients with Chronic Ankle Instability: A Single-Blinded Randomized Controlled Trial.

III. Effect of neuromuscular training vs strength training in Chronic Ankle Instability. Randomized Controlled Trial

CAPÍTULO 1: RESUMEN

1. RESUMEN

En esta Tesis Doctoral se han analizado diferentes condiciones del pie que son muy frecuentes en la población tanto general como deportista. Para ello, se han realizado 3 ensayos controlados aleatorizados.

1.1. Objetivos

Para el desarrollo de la tesis doctoral se han realizado 3 investigaciones diferentes en las que se abordan dos de las patologías más frecuentes del pie y tobillo: el Hallux Abducto Valgus y la Inestabilidad Crónica de Tobillo.

1.1.1. Estudio 1: *Efectos de la Reeducción Postural Global sobre el control postural, el equilibrio dinámico y el rango de movimiento del tobillo en pacientes con Hallux Abducto Valgus. Ensayo Controlado Aleatorizado.*

El objetivo del primer estudio consistía en comprobar si un tratamiento de fisioterapia basado en la metodología de la Reeducción Postural Global (RPG) es útil para tratar los déficits funcionales del Hallux Abducto Valgus (HAV). El inconveniente encontrado es que la gran mayoría de los estudios publicados sobre HAV lo abordan desde la perspectiva quirúrgica, sin estudiar otros conceptos. En esta línea, se ha visto que el HAV no es sólo un problema estético que puede estar relacionado con dolor, sino que está correlacionado con déficits de fuerza, equilibrio, movilidad, caídas y otras lesiones. Con nuestra investigación queríamos comprobar si el trabajo con Reeducción Postural Global era eficaz para abordar los déficits en el control postural, el equilibrio dinámico y la dorsiflexión de tobillo en comparación con un grupo control que no recibía intervención, que son características asociadas a otras lesiones y caídas.

Nuestras hipótesis en este estudio consistían en que el grupo de intervención con Reeducción Postural Global iba a tener mejores resultados en el control postural, el equilibrio dinámico y la dorsiflexión de tobillo en comparación con el grupo control.

1.1.2. Estudio 2: *Efectos a corto plazo del entrenamiento del equilibrio con visión estroboscópica en pacientes con inestabilidad crónica de tobillo. Ensayo controlado aleatorizado con simple ciego.*

Continuando en la línea del equilibrio y movilidad, el segundo estudio tenía como objetivo comprobar si un tratamiento a través de entrenamiento neuromuscular que combinase ejercicios de equilibrio y saltos con privación parcial de la visión mediante el uso de gafas estroboscópicas podría mejorar los déficits asociados con la CAI. Para ello, estudiamos los cambios en el equilibrio dinámico y la dorsiflexión de equilibrio, que son factores de riesgo para la cronificación de una lesión, la recurrencia de esta o la aparición de otra diferente. Además de ello, quisimos comprobar si la sensación subjetiva de inestabilidad y el estado funcional se modificaba en los participantes de nuestro estudio.

Nuestras hipótesis en este estudio fueron que el entrenamiento del equilibrio con visión estroboscópica iba a tener mejores resultados que el entrenamiento del equilibrio aislado y que el grupo control en las variables de equilibrio dinámico, dorsiflexión de tobillo, sensación subjetiva de inestabilidad y el estado funcional.

1.1.3. Estudio 3: *Efectos del entrenamiento neuromuscular vs entrenamiento de fuerza en inestabilidad crónica de tobillo. Ensayo controlado aleatorizado.*

Siguiendo con las investigaciones de las patologías del pie y tobillo, el objetivo del último estudio fue comparar la eficacia del mismo protocolo de entrenamiento neuromuscular que combina ejercicios de equilibrio y saltos de nuestra investigación anterior (pero sin gafas de visión estroboscópica) con un entrenamiento de fuerza con bandas elásticas y un grupo control en personas con CAI. En este estudio evaluamos exactamente las mismas variables que en el segundo artículo: equilibrio dinámico, dorsiflexión de tobillo, sensación subjetiva de inestabilidad y estado funcional.

Nuestras hipótesis en esta investigación fueron que el grupo de entrenamiento neuromuscular iba a tener mejores resultados que el grupo de entrenamiento de fuerza y este a su vez mejores resultados que el grupo control en las variables de equilibrio dinámico, dorsiflexión de tobillo, sensación subjetiva de inestabilidad y el estado funcional.

1.2. Metodología

Para esta tesis participaron un total de 220 sujetos repartidos entre los tres estudios. En el **Artículo I**, Un total de 80 pacientes con HAV sintomático de leve a moderado fueron asignados al grupo de intervención (RPG) o al grupo de control (GC) (sin tratamiento) durante 8 semanas. Las medidas de resultado se evaluaron al inicio, a las 4 y a las 8 semanas, incluyendo el control postural estático (test de Romberg), el equilibrio dinámico (Star Excursion Balance Test [SEBT]) y la DFROM del tobillo (Weight Bearing Lunge Test [WBLT]).

En el **Artículo II** 73 pacientes con CAI fueron asignados aleatoriamente a un grupo de entrenamiento de equilibrio (Balance Training, BT), de entrenamiento de Equilibrio con Visión Estroboscópica (BTSV) o a un grupo control (sin entrenamiento). Los participantes asignados a los grupos de entrenamiento recibieron 18 sesiones de entrenamiento durante 6 semanas. El resultado primario fue el equilibrio dinámico medido con Star Excursion Balance Test evaluado al inicio y después de 6 semanas de intervención. Las medidas de resultado secundarias incluyeron el rango de movimiento en dorsiflexión de tobillo, la sensación de inestabilidad autoreportada y el estado funcional del tobillo.

En el **Artículo III** 67 atletas (edad $27,96 \pm 8,380$) con CAI fueron asignados aleatoriamente al grupo de entrenamiento neuromuscular, al grupo de entrenamiento de fuerza o al grupo de control. Los participantes completaron 8 semanas de entrenamiento neuromuscular (una combinación de ejercicios estáticos y dinámicos), entrenamiento de fuerza (ejercicios con bandas de resistencia) o ningún entrenamiento. Las medidas de resultado se evaluaron al inicio y después de 8 semanas e incluyen la sensación de inestabilidad

autodeclarada (CAIT), el equilibrio dinámico (SEBT), la amplitud de movimiento de la dorsiflexión del tobillo (WBLT) y el estado funcional (FAAM y FAAM-S).

1.3. Resultados

En el **Artículo I** no se observaron mejoras a las 4 semanas, pero sí a las 8 semanas en: control postural estático en desplazamiento mediolateral (X) del centro de presiones (CoP) tanto en ojos abiertos (OA) como en ojos cerrados (OC): XOA ($t(36) = 2,892, p = 0,006, d = 0,67$); XOC ($t(68) = 2,280, p = 0,026, d = 0,54$); y velocidad (V) del desplazamiento del CoP: VOA ($t(68) = 2,380, p = 0,020, d = 0,57$); VOC ($t(36) = 2,057, p = 0,047, d = 0,37$). También hubo mejoras en: WBLT ($t(36) = -2,869, p = .007, d = 0,54$) y SEBT en tres direcciones (anterior, ANT; posteromedial, PM; y posterolateral, PL): SEBT.ANT ($t(36) = -2,292, p = 0,028, d = 0,23$); SEBT.PM ($t(36) = -4,075, p < 0,001, d = 0,43$); SEBT.PL ($t(62) = -3,506, p = 0,001, d = 0,34$).

En el **Artículo II** se observaron mejores puntuaciones en los grupos de BTSV y BT en todas las medidas de resultado en comparación con el grupo de control, con tamaños del efecto de moderados a grandes. El entrenamiento estroboscópico fue más eficaz que el entrenamiento neuromuscular en la sensación de inestabilidad autoreportada (d de Cohen = 0,71; $p = 0,042$) y en la distancia de alcance anterior del Star Excursion Balance Test (d de Cohen = 1,23; $p = 0,001$).

En el **Artículo III**, los grupos neuromuscular y de fuerza mostraron diferencias significativas entre el pre- y la post-intervención. El grupo control también mostró diferencias en la dirección anterior de SEBT y CAIT después de 8 semanas. Hubo diferencias significativas entre los grupos de fuerza y control en la dirección posteromedial del SEBT, FAAM y FAAM-S. El tamaño del efecto de la d de Cohen fue débil ($\leq 0,2$), pequeño (0,2 a 0,05), moderado (0,5 a 0,8) y grande ($> 0,8$) y el p-valor se estableció a priori en $p < 0,05$.

1.4. Conclusiones

El **Artículo I** demostró que la RPG, comparado con el GC, podría ser eficaz para mejorar la función del tobillo y pie, incluyendo el control postural, el equilibrio dinámico y el DFROM en personas con HAV.

En el **Artículo II** se vio que los hallazgos preliminares de los efectos de la visión estroboscópica en pacientes con CAI, sugieren que el BTSV puede ser beneficioso en la rehabilitación de CAI.

En el **Artículo III**, los resultados de la intervención sugieren que el entrenamiento neuromuscular y el entrenamiento de fuerza basado en ejercicios con bandas de resistencia tienen mejoras significativas sobre la dorsiflexión del tobillo, la sensación subjetiva de inestabilidad, el estado funcional y el equilibrio dinámico en pacientes con CAI. Aunque hay diferencias entre los grupos de intervención, no es posible determinar si el entrenamiento neuromuscular es superior al de fuerza.

1.5. Palabras clave

Equilibrio dinámico, reeducación postural global, hallux abducto valgus, control postural, amplitud de movimiento, inestabilidad crónica de tobillo; entrenamiento de equilibrio; visión estroboscópica, entrenamiento neuromuscular, entrenamiento de fuerza, inestabilidad autodeclarada y equilibrio dinámico

CAPÍTULO 2: INTRODUCCIÓN

2. INTRODUCCIÓN

La evidencia científica actual muestra una falta de consenso en los abordajes de las patologías del pie y tobillo dentro del ámbito de la fisioterapia. En esta Tesis Doctoral abordamos dos de las patologías más frecuentes de pie y tobillo: el Hallux Abducto Valgus (HAV) y la Inestabilidad Crónica de Tobillo (CAI).

Debido a la desviación del antepié y retropié característica del HAV, el mecanismo de Windlass¹ puede verse alterado puesto que la fascia plantar no tiene la capacidad de realizar la elevación del arco longitudinal medial pie²⁻⁴, lo que además puede provocar fasciopatía plantar³. Se debe tener en cuenta que existe una conexión física de la fascia plantar con el tendón de Aquiles y que, cuando existe una limitación en dorsiflexión del primer dedo debida a los tejidos blandos, el rango de dorsiflexión (DFROM) de tobillo también podría verse limitada⁵⁻⁷. De hecho, se ha observado que durante la fase terminal del balanceo de la marcha, parece existir una disminución del DFROM de tobillo junto con un aumento de la pronación⁸. Esto podría ser porque la actividad del músculo abductor hallucis y del primer interóseo dorsal suele estar alterada⁸. Estos músculos se encargan de estabilizar el arco longitudinal medial del pie y el primer radio y podría ser que, debido a las sinergias neuromusculares existentes, otros músculos como el tibial posterior, peroneo largo y la musculatura intrínseca, pudieran estar alterados y contribuyera a una mayor pronación⁸. Un HAV suele provocar también metatarsalgia por transferencia de carga durante la fase de balanceo de la marcha debido a la desviación del centro de presiones hacia las cabezas del 2º-3º metatarsiano^{4,9}. El HAV, al estar relacionado con un aumento en la pronación del pie, altera la biomecánica de la marcha tanto del lado homolateral como del contralateral, provocando un aumento en el valgo de la rodilla y caída de la pelvis, lo que está relacionado con ciertas patologías como ruptura del ACL, síndrome de estrés tibial medial o fasciopatía plantar^{3,10-12}. No solo esto, sino que el HAV está correlacionado con un aumento en el riesgo de caídas porque el control postural está disminuido^{13,14} y las caídas son el factor de riesgo principal para lesionarse o morir en edades de más de 65 años¹⁵.

Los esguinces y la CAI están correlacionados también con las disfunciones en el control postural, lo que podría ser también un factor de riesgo para la aparición de lesiones del LCA y caídas¹⁶⁻¹⁹.

Cuando existe CAI, es habitual encontrarse con inhibición neuromuscular en el peroneo largo y en el sóleo²⁰⁻²², siendo el músculo peroneo largo el que estabiliza la base del primer metatarsiano y su insuficiencia se relaciona con HAV⁴. A pesar de que no hemos encontrado estudios que hablen de ello, podríamos pensar que un primer radio que no está estabilizado por el peroneo largo, podría facilitar la aparición de un HAV, al igual que cuando existe un HAV relacionado con inhibición del músculo peroneo largo, podría facilitarse la aparición de CAI. Aunque para afirmar esto, habría que investigar en esta línea.

Además, se ha visto que la CAI puede favorecer una inhibición del glúteo medio²³, lo que puede a su vez aumentar el valgo de rodilla y la pronación del pie^{24,25}. También se ha demostrado que las alteraciones del glúteo medio están relacionadas con lumbalgia²⁶. Habiendo visto previamente que el HAV también está relacionado con un aumento de la pronación y la CAI puede, de manera indirecta, provocar dicha pronación, resulta imprescindible abordar ambas condiciones.

Ocurre también que, tanto la CAI como el HAV están relacionados con una disminución del DFROM de tobillo, del equilibrio estático y dinámico^{4-8,18,27}.

Es por ello que esta tesis pretende contribuir con la investigación de ambas condiciones para avanzar en su estudio.

2.1. Hallux Abducto Valgus

2.1.1. Definición y epidemiología

El HAV se define como una subluxación estática de la primera articulación metatarsofalángica con desviación lateral del dedo gordo y desviación medial del primer metatarsiano, junto con una rotación interna en el plano frontal del primer metatarsiano^{4,28}. Es la patología del pie más frecuente, con una

prevalencia del 30% en mujeres y del 13% en hombres, y tiende a aumentar con la edad²⁸. Se ha visto que la prevalencia de HAV según la edad es del 7,8% en niños, 23% en adultos y 35,7% en adultos mayores²⁸. Existe HAV cuando hay un ángulo de $\geq 15^\circ$ entre la bisección longitudinal del primer hueso de la falange proximal y el primer metatarsiano²⁹.

2.1.2. Clasificación

La severidad del HAV puede clasificarse en grados numéricos o con grados de la Escala Manchester (EM): $<15^\circ$ sin deformidad por HAV (grado 1 de la EM); $15-20^\circ$ deformidad leve por HAV (grado 2 de la EM); $21-39^\circ$ deformidad moderada por HAV (grado 3 de la EM); $\geq 40^\circ$ deformidad grave por HAV (grado 4 de la EM)³⁰. La Escala de Manchester ha demostrado ser una forma de evaluación del grado de HAV alternativa a la radiografía con una alta fiabilidad test-retest e incluso de autoevaluación^{31,32}.

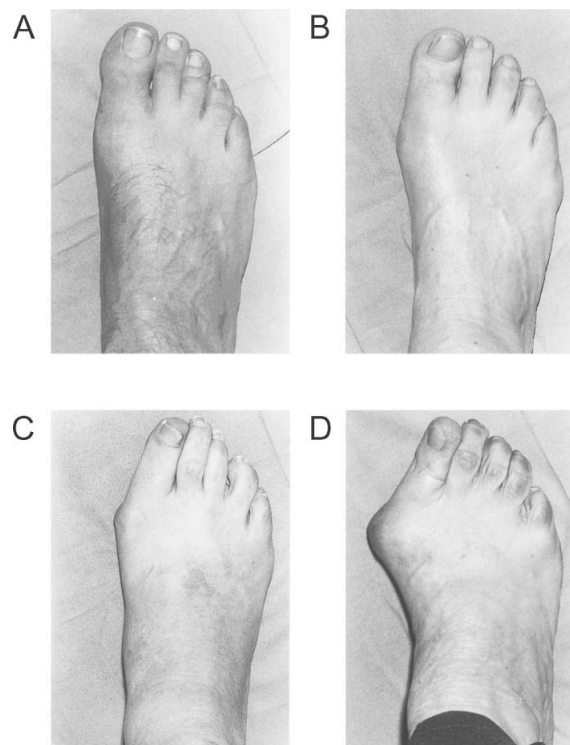


Ilustración 1: Escala Manchester: A, Grado 1 (no deformidad); B, grado 2 (deformidad leve); C, grado 3 (deformidad severa); D, grado 4 (deformidad severa). Adaptado de Garrow, 2001³⁰

2.1.3. Factores asociados

La etiología es desconocida, pero se ha relacionado con el pie pronado², la artrosis metatarsofalángica, los déficits de fuerza de la musculatura intrínseca del pie¹⁸, la genética⁵, aumento del índice de masa corporal³³, el dolor del dedo gordo del pie^{18,34}, y el uso de algún tipo de calzado que incluye tacones o zapatos estrechos³⁵. Se ha visto además que a mayor severidad de HAV, mayor probabilidad de aparición de fasciopatía plantar debido a modificaciones biomecánicas³. También se ha visto que el HAV presenta déficits funcionales tales como disminución de la fuerza del hallux en flexión plantar y abducción, junto con disminución del equilibrio mediolateral, factores que influyen en la aparición de otros problemas tales como caídas, fasciopatía plantar, metatarsalgias por transferencia de carga y otras patologías^{4,18}.

Según Munuera-Martínez, 2012⁴, los siguientes factores pueden predisponer a padecer HAV:

I. Factores patomecánicos:

- a) **Relacionados con el primer radio** como pueden ser: una dorsiflexión del 1º metatarsiano; hipermovilidad del 1º radio; pronación de la articulación subastragalina; 1º metatarsiano excesivamente largo; o 1º dedo excesivamente largo.
- b) **Insuficiencia del peroneo largo** que no permite una buena estabilización del primer radio.
- c) **Características anatómicas** como morfología de la cabeza del 1º metatarsiano redonda; antepié aducto; articulación cuneo-metatarsiana con base oblicua; extensor largo del primer dedo con doble inserción; entre otras posibles variables anatómicas.

II. **Factores hereditarios:** entre el 60 y 90% de las personas que tienen HAV presentan historia familiar de esta deformidad. Según Munuera-

Martínez⁴, lo que se hereda es la morfología, y esta es la que facilita la aparición de HAV.

- III. Factores hormonales:** el aumento de la relaxina puede predisponer a una hipermovilidad, lo que favorece la aparición del HAV. Esta hormona aumenta su concentración durante el embarazo y la menopausia, pudiendo favorecer su aparición.
- IV. Factores sociales-medioambientales:** uno de los factores a los que más se le ha atribuido la aparición de HAV es el calzado estrecho y el uso de tacones, sobre todo en mujeres. En la sociedad en que vivimos este tipo de calzado es muy utilizado y, si la anatomía y el factor hormonal predispone a ello, podríamos encontrar que es una causa de aparición de HAV.
- V. Traumatismos:** los impactos o esguinces de la 1ª articulación metatarsofalángica pueden ser causa de aparición o un agravante en el HAV. Parece ser además que, en la vejez, no aparecen nuevos HAV excepto si hay un traumatismo o proceso artítico gotoso.
- VI. Factores reumatoides:** como la osteoartritis, artritis deformante o artrosis pueden ser causa de aparición de HAV.
- VII. Iatrogenia:** ciertos tipos de cirugía, como la extirpación del sesamoideo medial pueden agravar el HAV.

2.1.4. Consecuencias

El HAV puede provocar dolor³⁶, alteración del control postural¹⁹, mayor riesgo de caídas^{36,37}, y riesgo asociado de otras lesiones en el pie debido a la alteración de la presión plantar resultante de la morfología alterada^{19,36,38} y la biomecánica³⁶.

Las articulaciones del pie, los músculos y los mecanorreceptores plantares tienen una gran importancia en los mecanismos de feedback y feedforward, por lo que, si se alteran, la propiocepción y el control postural podrían verse afectados

negativamente^{19,38}. Si hay alteraciones de la marcha y de los picos de presión plantar, puede modificarse la distribución de la carga del pie, lo que se relaciona con metatarsalgia, HAV o mayor riesgo de caídas^{36,37}. Cuando existe deformidad del HAV, la estabilidad postural disminuye, especialmente la estabilidad medio-lateral¹⁹, lo que también podría estar relacionado con déficits de fuerza de la musculatura^{6,18}.

Se hace necesario definir el mecanismo de Windlass redactado por Hicks, 1954¹, que describe el funcionamiento de la mecánica del pie a través de la influencia de la tensión de la fascia plantar. Lo que nos dice este mecanismo es que, al realizar una dorsiflexión de la primera articulación metatarsofalángica, la fascia plantar se pone en tensión y da lugar a una elevación del arco longitudinal medial (ALM) del pie, junto con una supinación del retropié y una rotación externa de la tibia y peroné^{1,4,39}. Cuando existe HAV, el pie tiende a la pronación, lo que aumenta el brazo de momento y dificulta la elevación del ALM, disminuyendo la capacidad de transmisión de la fuerza de la fascia plantar a lo largo del pie²⁻⁴. La fascia plantar, además, está en íntima relación con el tendón de Aquiles gracias a la conexión aponeurótica existente entre ambas estructuras^{5,6}. Al haber una pronación del retropié y un aumento de la distancia entre origen e inserción de la fascia plantar cuando existe HAV, la capacidad del mecanismo de Windlass para resupinar podría ser menor, lo que disminuiría la eficacia de la marcha^{3,4,18}. Este hecho, junto con la disminución del equilibrio mediolateral y la falta de fuerza del hallux¹⁸, podría dar lugar a una disminución de la dorsiflexión de tobillo. Algunos autores defienden que no hay relación entre la existencia de HAV y la disminución en DFROM de tobillo¹⁸, mientras que otros defienden lo contrario⁴⁰. Abdalbary y cols. 2018⁴⁰, encontraron que tras su intervención con un programa de ejercicio combinado con separadores el DFROM de tobillo mejoró. Junto a esto, encontraron mejorías en el ángulo del HAV, la fuerza y el dolor⁴⁰.

En presencia de HAV, es importante saber que las fuerzas transmitidas desde el pie hacia el resto del cuerpo por el mecanismo de Windlass se pueden a ver alteradas⁴. Se debe tener en cuenta que existe una conexión física de la fascia plantar con el tendón de Aquiles y que, cuando existe una limitación en

dorsiflexión del primer dedo debida a los tejidos blandos, la DFROM de tobillo también podría verse limitada⁵⁻⁷. Por tanto, el planteamiento de nuestra investigación venía dado por este razonamiento junto con la experiencia derivada de la práctica clínica con este tipo de pacientes.

2.1.5. Tipos de abordaje

En cuanto al enfoque terapéutico de los pacientes con HAV, el tratamiento más común es la cirugía y existen más de 150 tipos de abordaje quirúrgico⁴¹. De entre todos los abordajes, la cirugía abierta de Chevron es la más utilizada dentro del ámbito de la cirugía, aunque no está exenta de posibles secuelas como disminución de la movilidad del primer dedo y grandes cicatrices que provoquen disminución del ROM del primer dedo, dolor y alteración de la sensibilidad^{4,41,42}. Debido a estas demandas, se han desarrollado otros métodos quirúrgicos como es la cirugía mínimamente invasiva, con el objetivo de minimizar las posibles consecuencias, siendo que los pacientes podrían obtener resultados similares con menor probabilidad de sufrir secuelas y con una mayor satisfacción tras la cirugía⁴².

La literatura actual de los tratamientos conservadores incluye movilizaciones articulares, ejercicio, vendajes, hielo e implementos ortopédicos que involucran separador de dedos, soportes plantares y férulas nocturnas en las etapas tempranas de la patología^{40,41,43,44}.

Estudios previos evaluaron la eficacia de unos soportes plantares enfocados en disminuir la hiperpronación, ya que esta se considera un factor que aumenta la deformidad del HAV, con el objetivo de frenar la evolución del HAV en mujeres⁴⁵. Sin embargo, tras 12 meses, no hubo diferencias entre ambos grupos con este tratamiento conservador⁴⁵.

Glase y cols.⁴³ propusieron una progresión de ejercicios para abordar tanto la desviación de la primera articulación metatarsofalángica como la pronación del pie. Debido a la biomecánica del pie, ejercicios como el short foot, toes-spread out y heel rise podrían ayudar a la corrección de la deformidad⁴³. Sin embargo,

esto fue sólo una propuesta y no llegaron a realizar ningún estudio con pacientes reales⁴³.

Otro tipo de tratamiento que se ha investigado para abordar el HAV es la combinación de terapia manual (enfocada en la flexión, deslizamiento y tracción del hallux, junto con movilizaciones articulares del resto de metatarsofalángicas, Lisfranc, el mediopie, retropié y tobillo), junto con ejercicios de fuerza para el primer dedo (flexión plantar y abducción), estiramientos para los gastrocnemios (realizados manualmente por el terapeuta) y un separador del primer dedo a medida⁴⁰. Este tipo de tratamiento parece ser eficaz en la disminución del dolor, la mejora de la funcionalidad, el DFROM de tobillo, la fuerza del primer dedo en flexión y abducción y el ángulo del primer dedo⁴⁰.

También se han aplicado diferentes tipos de tape para el HAV y se ha visto que el tape de Mulligan reduce a corto plazo el ángulo de la articulación metatarsofalángica del primer dedo y mejora el equilibrio⁴⁴. Además, parece ser que tanto el Athletic Tape como el tape de Mulligan podría aumentar los límites de estabilidad (LoS)^{44,46}.

Según nuestro conocimiento actual, el nuestro es el primer estudio que aborda la efectividad del enfoque de terapia manual en esta patología, puesto que el resto combinaban la acción de diferentes técnicas. Además, es el único que aborda el control postural, equilibrio y DFROM de tobillo en HAV con terapia manual. El método de reeducación postural global (RPG) consiste en una combinación de terapia manual y ejercicio terapéutico en la que se mantiene una pre-tensión de la cadena miofascial objetivo, mientras el participante mantiene una postura de tratamiento específica de forma isométrica^{47,48}. La RPG es eficaz en el tratamiento de varios trastornos musculoesqueléticos, como la disfunción temporomandibular, la incontinencia urinaria y las lesiones de la columna vertebral^{48,49}. No se han realizado investigaciones previas sobre la eficacia de este método en sujetos con HAV, pero puede ser útil para el tratamiento conservador de esta afección teniendo en cuenta la bibliografía mencionada anteriormente.

2.2. Esguinces e Inestabilidad Crónica de Tobillo

2.2.1. Definición y epidemiología

Los esguinces de tobillo son una de las lesiones musculoesqueléticas que más frecuentemente aparecen y que son causa de discapacidad a corto plazo, obligando en muchas ocasiones a disminuir la actividad física y/o la actividad deportiva⁵⁰. Además pueden, a largo plazo, provocar otras patologías como artrosis, artritis postraumática, inestabilidad crónica de tobillo, dolor persistente, neuropatías...^{50,51}. El mecanismo lesional más frecuente de los esguinces de tobillo agudos es el mecanismo de inversión, lo que puede llegar a lesionar los ligamentos de tobillo laterales, siendo que alrededor del 73% de los esguinces de tobillo agudos afectan al ligamento peroneoastragalino anterior (LPAA), seguido por el ligamento peroneo-calcáneo (LPC)^{50,52}. En alrededor del 25% de todos los esguinces de tobillo agudos hay lesión del ligamento deltoideo o de la sindesmosis tibio-peronea inferior (ligamento tibio-peroneo antero-inferior o postero-inferior)⁵⁰

Los esguinces de tobillo agudos se caracterizan por un estiramiento repentino de los ligamentos del tobillo. Este estiramiento repentino puede provocar ruptura parcial o total del ligamento o ligamentos afectados por dicho mecanismo lesional⁵⁰.

Se estima que los esguinces laterales de tobillo tienen una prevalencia del 11,88%⁵³ y que sólo el 50% irá en busca de ayuda sanitaria, por lo que se cree que la incidencia de esguince de tobillo es mayor de la descrita⁵¹. También se ha visto que existen diferencias entre sexos: los varones de entre 15 y 24 años sufrían más esguinces de tobillo que las mujeres de la misma edad. Asimismo, las mujeres con más de 30 años tenían una mayor incidencia comparada con sus iguales masculinos⁵⁴. Waterman y cols.⁵⁴ encontraron que alrededor del 50% de los esguinces de tobillo ocurrían durante la actividad no deportiva, por lo que hay que tener en cuenta que esta lesión no es exclusiva de la población deportista.

El esguince de tobillo es la principal lesión de tobillo en el deporte, con una prevalencia del 76,7% de las lesiones de tobillo⁵⁰. La prevalencia estimada de las lesiones de tobillo es del 11,88% y sólo el 50% busca ayuda médica, por lo que se cree que la incidencia de los esguinces de tobillo es mayor de lo descrito⁵¹. Alrededor del 50% de los esguinces de tobillo se producen durante la práctica deportiva, más frecuentemente en deportes indoor como el voleibol y el baloncesto, y también es común en el fútbol, ya que alrededor del 58,5% de los jugadores de fútbol y baloncesto han sufrido al menos un esguince de tobillo en toda su carrera^{27,50,51,55}, existiendo una proporción de 7 esguinces por cada 1.000 jugadores expuestos⁵³. Existe un alto impacto económico relacionado con los esguinces de tobillo, ya que el coste oscila entre 1809 y 5271 dólares por cada esguince de tobillo⁵⁶.

Aunque entraremos más en detalle a continuación, se ha visto que entre un 0-73% de las personas que sufren un solo esguince de tobillo, desarrollarán CAI^{27,51}. El término CAI, se define como la incapacidad de mantener la movilidad normal del tobillo, perdiendo su control en algunas situaciones y provocando esguinces repetitivos y sensación de inseguridad constante durante la ejecución de actividades funcionales tras un esguince de tobillo²⁷. Es una condición caracterizada por episodios repetidos de "giving way" del tobillo; síntomas asociados como dolor, debilidad o disminución del DFROM de tobillo; disminución de la funcionalidad autopercebida; sensación de inestabilidad; y esguinces recurrentes^{27,51}.

2.2.2. Clasificación

Siguiendo las recomendaciones de las Guías de Práctica Clínica es posible clasificar los esguinces laterales de tobillo según su cronicidad como "agudo" durante las semanas 1 y 2 tras el episodio lesional; "post-agudo" desde la semana 2 hasta el mes 12; y crónico si los síntomas continúan tras 12 meses⁵¹.

2.2.3. Consecuencias

Los esguinces laterales de tobillo provocan un absentismo deportivo en el fútbol profesional de unos 8 – 28 días⁵⁵ y el problema muchas veces es la alta tasa de recurrencia⁵⁷. En un estudio prospectivo de 16 años⁵⁵ se vio que, en la UEFA Champions League, las lesiones de tobillo con un porcentaje de recurrencia más alto eran: contusión de tobillo (2,6%), lesión capsular del tobillo (10,8%), sinovitis de tobillo (38,3%), esguince del ligamento deltoideo (13,3%) y esguince del ligamento lateral del tobillo (13,7%). A pesar de que a priori no todas estas lesiones de tobillo son esguinces, pueden ser secundarias a un esguince previo y ser consecuencia de CAI⁵¹.

Los esguinces de tobillo laterales tienen una alta tasa de recurrencia, síntomas persistentes y una funcionalidad autopercibida disminuida, lo que convierte esta patología en un problema de salud pública importante con altos costes económicos para los sistemas sanitarios^{58,59}.

Los esguinces de tobillo están relacionados con el 13 – 22% de los casos de artrosis de tobillo y con el 80% de los casos de osteoartritis post-traumática^{58,59}. De estos últimos, el 50% de los casos de osteoartritis apareció tras un solo esguince de tobillo mientras que el otro 50% apareció como consecuencia de CAI^{58,59}.

En 2013, la Guía de Práctica Clínica de la Asociación Americana de Fisioterapia informó de que la prevalencia de CAI variaba desde un 0% a un 73%⁶⁰. Sin embargo se realizó otro estudio en 2016 en el que se expone que la prevalencia de CAI era del 40% de las personas que sufrían un episodio de esguince lateral de tobillo⁶¹. Otros estudios hablan de que el porcentaje de recurrencia varía entre un 12 y un 47%⁶²⁻⁶⁵, y que es dependiente del deporte, siendo que en fútbol hay una tasa de recurrencia de un 61% mientras que en baloncesto es del 60%⁵⁷.

2.2.4. Factores asociados

Según el International Ankle Consortium⁶⁶, la CAI es una condición caracterizada por episodios repetidos de “giving way” del tobillo; síntomas asociados como dolor, debilidad o disminución del DFROM de tobillo; disminución de la funcionalidad autopercebida; y esguinces de tobillo recurrentes que persisten más de 1 año tras el primer episodio de esguince de tobillo, sensación de inestabilidad de tobillo^{27,51,66}.

El modelo de Hertel actualizado²⁷ expone todas las áreas que subyacen a la CAI. Según esta actualización, el modelo se compone de 8 componentes primarios²⁷:

- I.** Lesión tisular primaria.
- II.** Alteraciones patomecánicas
- III.** Alteraciones sensorio-perceptivas
- IV.** Alteraciones motor-comportamentales
- V.** Factores personales
- VI.** Factores medioambientales
- VII.** Interacciones entre los componentes
- VIII.** Espectro de resultados clínicos



Ilustración 2. MODELO DE HERTEL CAI (2019) TRADUCIDO Y ADAPTADO POR ALEJANDRO ESTEPA DE: Hertel, J., & Corbett, R. O. (2019)²⁷.

I. LESIÓN TISULAR PRIMARIA

Según Hertel y cols., 2019²⁷, tras un esguince de tobillo que da lugar a una lesión ligamentaria primaria pueden aparecer diferentes alteraciones de la lista anterior, pero no tienen por qué aparecer todas ellas en todos los pacientes con CAI. El hecho de que aparezcan uno o varios de los componentes anteriores en los sujetos con CAI depende de los factores personales y medioambientales, junto con las consecuencias asociadas.

Este modelo actualizado de Hertel se basa en la teoría de los sistemas dinámicos complejos⁶⁷⁻⁶⁹ y en la teoría de la neuromatrix del dolor de Melzack^{70,71}. Basado en estas teorías, Hertel y cols.²⁷ correlacionan los resultados clínicos de los pacientes con una lesión primaria como puede ser una lesión del LPAA o de LPC, con las tres categorías de alteración (patomecánica, sensorio-perceptiva y motor-comportamental) y con los factores medioambientales y personales. Por último

exponen el espectro de resultados desde la recuperación completa hasta el resultado de CAI²⁷.

II. ALTERACIONES PATOMECAÑICAS

Las alteraciones patomecánicas constituyen una de las partes biológicas del modelo biopsicosocial. Pueden aparecer secundariamente a una lesión ligamentaria debido a:

- a) **Laxitud patológica** por pérdida de la integridad ligamentaria tras ruptura del LPAA, que se puede ver con el anterior drawer test, con ecografía y con maniobras de estrés en radiografías para la articulación tibio-peroneo-astragalina^{27,72}; y del LPC evaluado con el test de estrés en inversión²⁷.
- b) **Restricciones artrocinemáticas** que limitan el movimiento en el complejo pie-tobillo, sobre todo en la dorsiflexión de tobillo por disminución del deslizamiento anteroposterior del astrágalo y de la tolerancia al estiramiento del tríceps sural, aunque también se ha visto que el movimiento puede estar limitado en las articulaciones subtalar, mediotarsiana y tarso-metatarsianas²⁷.
- c) **Restricciones osteocinemáticas** provocadas por lesiones óseas como la artrosis²⁷.
- d) **Lesión tisular secundaria** a los esguinces de tobillo agudos, como pueden ser las lesiones de los tendones peroneos, lesiones cartilaginosas de la tibia y astrágalo, membrana sinovial...²⁷.
- e) **Adaptaciones tisulares** tales como engrosamiento de los ligamentos y calcificaciones pueden aparecer como consecuencia de esguinces recurrentes²⁷.

III. ALTERACIONES SENSORIO-PERCEPTIVAS

Hacen referencia a las sensaciones del paciente acerca de su cuerpo, su lesión o sobre sí mismo/a. Pueden aparecer con diferentes características. Se considera que la información sensorial disminuida constituye la parte biológica del modelo biopsicosocial, el dolor es bio-psicológica y la kinesiofobia es psicológica:

- a) **Información sensorial disminuida** debido al daño en los receptores articulares, ligamentarios y posible lesión neural secundaria. De hecho, se ha visto que la propiocepción se ve alterada en estos casos²⁷.
- b) **Dolor experimentado** por las personas con CAI, que durante mucho tiempo no se ha tenido muy en cuenta²⁷.
- c) **Inestabilidad percibida** es una característica muy común en personas con CAI en la que sienten que en cualquier momento pueden torcerse el tobillo²⁷.
- d) **La kinesiofobia** durante las actividades funcionales es una característica frecuente en personas con CAI²⁷.
- e) **La funcionalidad autodeclarada** suele estar disminuida, así como la **calidad de vida**²⁷.

IV. ALTERACIONES MOTOR-COMPORTAMENTALES

Se presentan como anomalías en la contractibilidad muscular, patrones de movimiento alterado y evitación de ciertas conductas durante la actividad física. Todas las modificaciones en este constructo forman parte del segmento biológico del modelo biopsicosocial excepto la actividad física reducida, que combina tanto la porción biológica como la psicológica²⁷.

- a) **Reflejos alterados** en el timing de las contracciones musculares y la amplitud de las respuestas ante los movimientos de inversión del tobillo²⁷. Se ha visto que los pacientes con CAI tienen una disminución de la excitabilidad de los reflejos medulares, lo que provoca alteraciones en

el control motor, alteraciones propioceptivas y sensación subjetiva de inestabilidad⁷³.

- b) Inhibición neuromuscular** no sólo en los músculos del tobillo como el peroneo largo y sóleo²⁰⁻²², sino también en otros músculos como los isquiosurales⁷⁴, diafragma⁷⁵ y glúteo medio²³. Por lo que la CAI no es una lesión que sólo afecte al tobillo.
- c) Debilidad muscular** en eversión, inversión y flexión plantar²⁷.
- d) Déficits del equilibrio estático, dinámico y del control postural** debido a alteraciones somatosensoriales, motoras o ambas²⁷.
- e) Patrones de movimiento alterados** durante movimientos funcionales como la marcha, carrera, cambios de dirección y aterrizajes²⁷.
- f) Actividad física disminuida** debido a que las personas con CAI suelen evitar la actividad en comparación con personas sanas por su lesión²⁷.

V. FACTORES PERSONALES

Hertel & Corbett, 2019 desarrollan la idea de que cada sujeto es único y que su genética, morfología, historial médico, factores demográficos, perfil psicológico... juegan un papel importante en el desarrollo de la CAI²⁷. Esto se basa en el modelo biopsicosocial y defiende que según estas características personales, cada individuo afrontará su patología desde una perspectiva. De hecho, se ha visto que personas con depresión tras una lesión, tardan más tiempo que personas sin problemas mentales en recuperarse de una lesión para llegar a realizar las actividades de la vida diaria al nivel en el que estaban antes de la lesión⁷⁶.

VI. FACTORES MEDIOAMBIENTALES

Dentro de estos factores entran en juego las expectativas que el sujeto con CAI se siente presionado a cumplir por la presión social de alrededor²⁷. Por ejemplo, una persona sedentaria que sufre esta patología y cuyo trabajo es estar 8h en una oficina tendrá menor presión social que un futbolista de primera división que

tiene que jugar cada fin de semana. Además, una persona que no tenga acceso al sistema sanitario, tendrá menor capacidad para recuperarse que una persona que puede ser ayudada por un profesional sanitario competente²⁷.

VII. CAUSAS DE MANIFIESTACIÓN DE ALTERACIONES EN PERSONAS CON CAI

Hertel y Corbett, 2019²⁷ defienden tres hipótesis teóricas para estas manifestaciones que pueden actuar en conjunto:

a) La teoría de la autoorganización se basa en la teoría de los sistemas dinámicos complejos⁶⁷⁻⁶⁹ y dice que los diferentes componentes del organismo no influyen de una manera lineal en el resto. Por el contrario, lo hacen de manera más compleja, sin ningún programa motor predefinido que dirija las interacciones entre dichos componentes. Lo que quiere decir esto es que cuando ocurre una acción A (por ejemplo, una inversión forzada), no siempre dará lugar a B (por ejemplo, una contracción rápida hacia la pronación). En algunas ocasiones, cuando ocurra A, podrá ocurrir B, pero también podrá ocurrir C (por ejemplo, la persona se tira al suelo para evitar lesionarse el tobillo).

Esto quiere decir que el sujeto actuará de una forma u otra dependiendo de la cantidad de estrategias de movimiento disponible para realizar una acción y los constreñimientos que actúan en el momento de la ejecución.

Entre los diferentes constreñimientos se incluyen los **tipos de tarea** que obligan a ejecutar un movimiento de determinada forma (por ejemplo, el uso de calas en la bicicleta no permite la prono-supinación), **el ambiente** donde se realiza la acción (p.e., será diferente correr sobre hierba que sobre un carril con piedras) y las **características patomecánicas, sensorio-perceptivas y motor-comportamentales** del sujeto derivadas de la lesión primaria²⁷.

Los constreñimientos pueden utilizarse para modificar el ambiente y la tarea del sujeto, de tal manera que, durante una sesión de fisioterapia, se puede pedir a una persona con CAI que realice una tarea para trabajar el equilibrio sobre terreno duro y homogéneo o podríamos cambiar el ambiente y hacerlo sobre una

colchoneta para que el terreno de apoyo sea más blando. El objetivo sería aumentar la disponibilidad de reacciones del sujeto.

b) Los ciclos de percepción-acción están basados en la teoría de los sistemas dinámicos complejos⁶⁷⁻⁶⁹. En el modelo de CAI actualizado por Hertel²⁷ es importante saber que las alteraciones sensorio-perceptivas afectan a las motor-comportamentales y viceversa. Esta relación ocurre cíclicamente de manera perpetua. De ahí que sea importante “romper el ciclo” y actuar sobre alguna de las alteraciones que nos encontramos, ya sea sensorial o motora, ya que se influyen mutuamente.

c) La teoría de la neurofirma o neuromatrix del dolor de Melzack^{70,71} nos indica que las redes neuronales procesan la información y darán una respuesta basada en las experiencias previas, las emociones y percepciones. Dichas redes neuronales se crean y se destruyen, creando los neurotags, que serán los que organicen las diferentes reacciones ante los estímulos del medio interno y externo⁷⁷. Es por ello que se hace necesario entender que esta neurofirma predispone a sufrir una lesión persistente o a solucionar la misma y que influirá en los ciclos de percepción-acción.

Hertel y Corbett, 2019²⁷ defienden que el estrés y el dolor persistente pueden dar lugar a una alteración negativa de la neurofirma, mientras que la terapia manual y el ejercicio la alteran de manera positiva. Debemos entonces aumentar los estímulos que actúan de manera positiva y disminuir los estímulos negativos para una recuperación más eficiente²⁷.

2.2.5 Control postural

En este punto es necesario hablar de que el control postural es la capacidad de mantener el centro de presiones (CoP) dentro de la Base de Sustentación (BoS)^{38,78}. Para ello se apoya de las contracciones musculares de todo el cuerpo que contribuyen con los mecanismos de feedback y feedforward a través de procesos complejos que involucran a diferentes sistemas corporales como: los sistemas somatosensoriales, sistema visual y vestibular^{38,79}.

Desde hace tiempo se está estudiando la influencia del pie y el tobillo en el control postural y se ha visto que tanto la musculatura intrínseca como la extrínseca actúan para mantener el CoP dentro de la BoS porque forman parte de los sistemas somatosensoriales⁷⁸. El pie y tobillo forman parte de los sistemas somatosensoriales⁷⁹ y se ha visto que dichos sistemas somatosensoriales cambian dinámicamente la dependencia en las entradas de información en base a las necesidades⁸⁰. Tras el desarrollo de una patología como es la CAI se produce una reponderación de la información sensorial en el Sistema Nervioso Central (SNC), provocando una mayor dependencia del sistema visual por parte de los individuos con patología^{81,82}, favoreciendo los episodios de "giving way" y esto a su vez da lugar a alteraciones del control postural⁸³. Las disfunciones del control postural han demostrado favorecer la aparición de: esguinces de tobillo¹⁶, HAV^{18,19}, lesiones del Ligamento Cruzado Anterior (LCA)¹⁷ y caídas^{18,19}.

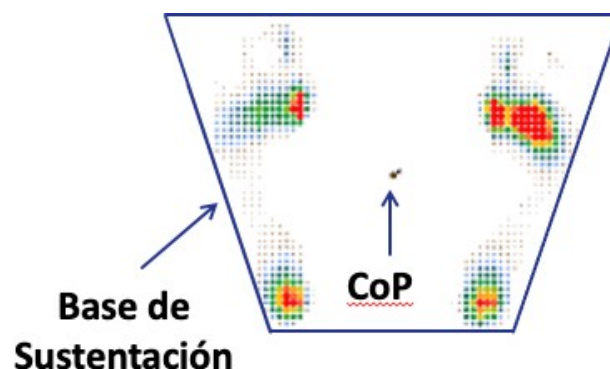


Ilustración 3. Representación de BoS y CoP

Se ha demostrado que tanto el HAV como la CAI están relacionados con alteraciones del control postural, por lo que en nuestras investigaciones es muy importante el estudio de estas variables.

Para entender qué mecanismos existen en el pie para controlar el CoP, es importante conocer el Foot Core System descrito por Mckeon y cols.⁶, 2015. El Foot Core System es un conjunto de subsistemas que interactúan entre sí aportando información sensorial, estabilidad, movimiento y adaptación al pie y al tobillo durante las actividades estáticas y dinámicas. Este subsistema se

describió basado en la teoría de la estabilización del tronco a través del CORE descrita por Panjabi, 1992⁸⁴. El Foot Core System divide en⁶:

1. **Subsistema pasivo** formado por los ligamentos, cápsula articular, fascia plantar y los huesos.
2. **Subsistema activo** formado por la musculatura intrínseca y la extrínseca del pie que transmiten su fuerza a través de los tendones.
3. **Subsistema neural** formado por los receptores cutáneos, ligamentarios, capsulares, tendinosos, musculares y de la fascia plantar.

Gracias al Foot Core System, el SNC recibe información de la situación del pie y tobillo en el espacio en cada momento. Esto permite a los centros superiores procesar la información y producir una respuesta basada en las experiencias previas. Los mecanismos de feedback y feedforward necesitan de la interacción de todos los subsistemas del Foot Core System para funcionar correctamente evitando lesiones y maximizando la funcionalidad⁶.

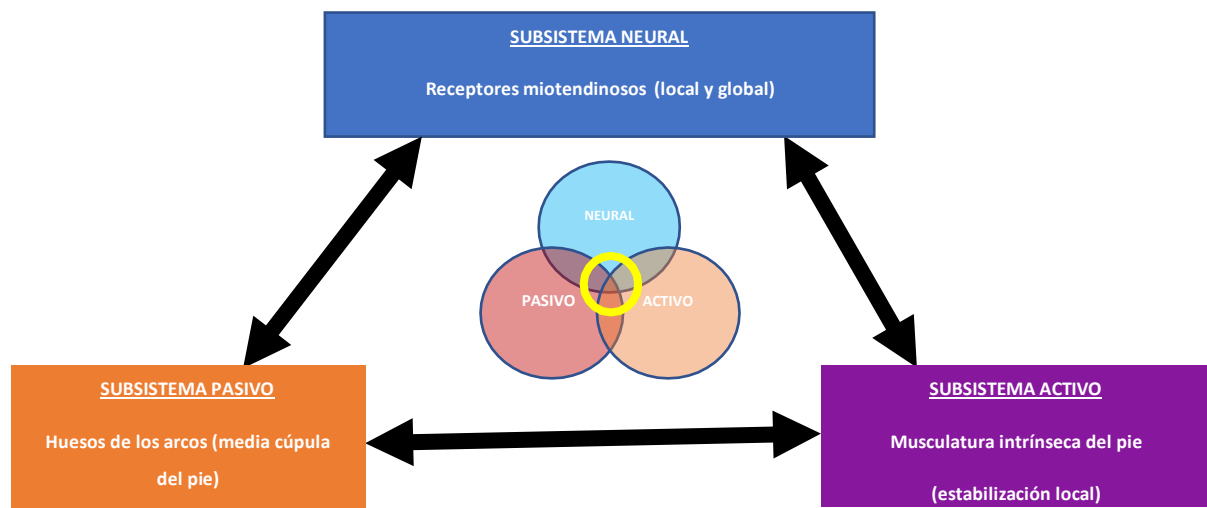


Ilustración 4. TRADUCIDO POR ESTEPA-GALLEGO, A. DE: McKeon, P. O., Hertel, J., Bramble, D., & Davis, I. (2015)⁶

2.2.6 Tipos de abordaje

Tras reconocer la CAI como una entidad clínica basada en el modelo biopsicosocial, se hace necesario el estudio de diferentes tipos de abordaje terapéutico para optimizar el conocimiento que tenemos de dicha patología.

Parece ser que el entrenamiento neuromuscular basado en el trabajo de equilibrio y saltos puede ser una alternativa eficaz para mejorar el control postural y el equilibrio dinámico en presencia de CAI debido a la complejidad de la patología⁸⁵⁻⁸⁷. Sin embargo, debido a la reponderación que ocurre a favor del sistema visual, se hace necesario buscar un abordaje que pueda ayudarnos a que los sistemas somatosensoriales vuelvan a tener la importancia que deberían en el procesamiento del SNC^{81,82}. Es por ello que el entrenamiento con gafas de visión estroboscópica mediante la privación parcial de la visión podría ser una buena opción para aumentar la confianza del SNC en el complejo pie-tobillo debido a que no es un cambio tan grande como podría ser el cerrar los ojos completamente⁸⁸.

Se ha informado de que los pacientes con CAI presentan un control postural alterado, una relación de activación muscular y una propiocepción deteriorada^{89,90}. El manejo del control postural se ha centrado en la mejora de la función motora mediante diferentes estrategias como el entrenamiento de fuerza, el entrenamiento neuromuscular, el entrenamiento propioceptivo o una combinación de todos ellos^{85,87,91}. La reducción de la capacidad somatosensorial en aquellos con CAI debido a la entrada alterada del complejo de la articulación del tobillo y el pie requiere una intervención para restaurar la función de los receptores sensoriales^{92,93}.

El entrenamiento del equilibrio está relacionado con la mejora del control postural en las personas con CAI y se ha considerado un enfoque terapéutico eficaz para esta población⁸⁵⁻⁸⁷. Teniendo en cuenta la compleja etiología de la CAI, se han aplicado con éxito intervenciones relacionadas con estas lesiones para mejorar el control postural, la DFROM o la fuerza muscular⁸⁵⁻⁸⁷. Sin embargo, se ha observado que la intervención focalizada también proporciona mejoras en

otros factores que contribuyen a CAI más allá de los que se han abordado particularmente⁹⁴. Se sugiere que un entrenamiento multimodal del equilibrio que incluya tareas desafiantes en múltiples planos del espacio, desplazamientos y tareas estáticas y dinámicas durante situaciones deportivas típicas puede desempeñar un papel importante en la prevención de la recaída del esguince de tobillo. Correr mientras se realiza alguna tarea táctica o deportiva que requiera atención, un cambio de dirección repentino o un aterrizaje son situaciones relacionadas con un mayor riesgo de sufrir un esguince de tobillo^{95,96}.

Los protocolos de entrenamiento integral multimodal se han considerado una opción terapéutica eficaz para el manejo de los pacientes con CAI^{97,98}; sin embargo, la mayor dependencia de la información visual en los pacientes con CAI no se modifica tras esta intervención^{81,82}. El uso de la información visual a expensas de la información somatosensorial de la articulación del tobillo se ha identificado como un factor que contribuye a los episodios de "giving way" y a los esguinces de tobillo repetidos en las personas con CAI⁸³. Las intervenciones convencionales de CAI^{81,82} no abordan la necesidad de restaurar los déficits somatosensoriales alterados tras un esguince de tobillo. Por lo tanto, incluir una opción de tratamiento específica que se centre en esta disfunción neurofisiológica sería beneficioso para estos pacientes. Kim et al.⁸⁸ han informado de la influencia de la visión estroboscópica (SV) para inducir la reponderación sensorial de la entrada visual en pacientes con CAI. La visión estroboscópica consistía en el uso de una gafa especial cuyos cristales pasaban intermitentemente de transparentes a opacos durante 100 milisegundos, reduciendo así la retroalimentación visual. Este tipo de dispositivo visual se ha empleado anteriormente con fines deportivos con resultados positivos en jugadores de béisbol⁹⁹, pero hasta hace poco no se había incluido en el proceso de rehabilitación de pacientes con CAI. La aplicación de este novedoso enfoque a los pacientes con CAI, puede mejorar la actividad de las vías somatosensoriales debido a la entrada limitada de información visual, y contribuir al desarrollo de estrategias de retroalimentación después del entrenamiento y su aplicación a la vida diaria y a las actividades deportivas.

El entrenamiento de fuerza tiene como base el aumento de la capacidad de producción del movimiento, pero también el control del mismo. Dicha producción del movimiento puede deberse a factores físicos debidos al aumento del tamaño o la capacidad de tracción propia de las fibras musculares, pero también a factores neurológicos tales como una mayor capacidad de activación neuromuscular¹⁰⁰. Según diferentes investigaciones, el trabajo de la fuerza podría mejorar la fuerza del tobillo y el sentido de la posición articular en dorsiflexión, plantarflexión y posición de inversión debido a cambios en la sensibilidad del huso neuromuscular o en los mecanismos centrales, mejorando los déficits de propiocepción que son factores predisponentes del esguince recurrente y, por tanto, de la condición de CAI^{51,101-103}. También se ha visto que puede mejorar el equilibrio dinámico^{104,105}, el estado funcional¹⁰⁶, la DFROM¹⁰⁷ y la sensación subjetiva de inestabilidad en personas con esguinces de tobillo y CAI^{104,105}.

CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las condiciones de HAV y CAI son dos de los motivos más frecuentes de consulta. Ambas son situaciones que podrían dar lugar a otras lesiones tales como lesión del LCA, síndrome de estrés tibial medial, fasciopatía plantar y caídas porque el control postural y el equilibrio están disminuidos, hay mayor pronación y una disminución de la DFROM de tobillo^{3-8,10-14,18,27}. Además, se ha visto que la insuficiencia del peroneo largo está correlacionada con el HAV, mientras que una falta de activación y/o fuerza del mismo músculo se correlaciona a su vez con la CAI^{4,20-22,73}, lo que podría estar interrelacionado.

A pesar de que son patologías muy frecuentes, hay muy poca investigación sobre el tratamiento del HAV con fisioterapia. La literatura existente aporta pruebas de que el HAV es una condición fuente de inestabilidad y caídas, pero hay muy poca investigación que hable sobre cómo se puede resolver el problema.

En el caso de la CAI hay más investigación, pero no parece haber consenso en cuanto al tipo de trabajo que hay que realizar: entrenamiento de equilibrio, fuerza, multimodal, saltos, terapia manual... Además, gracias a las nuevas tendencias de tratamiento con tecnologías como las gafas de visión estroboscópica podríamos conseguir la reponderación sensorial en favor de la recuperación de la lesión, permitiéndonos el abordaje de los sistemas encargados de mantener el control postural: somatosensorial, visual y vestibular.

En base a lo anterior se han formulado las siguientes preguntas de investigación: ¿puede un tratamiento que combina la terapia manual con ejercicios isométricos como es la RPG ayudarnos a mejorar las consecuencias del HAV a corto y medio plazo? (**Artículo I**) ¿qué tipo de tratamiento es mejor para trabajar con personas que padecen CAI? (**Artículo II y III**)

CAPÍTULO 4: OBJETIVOS

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general:

El objetivo general de esta Tesis Doctoral fue analizar si el tratamiento con RPG podría ayudarnos a mejorar el control postural estático de las personas con HAV (**Artículo I**). Además, queríamos saber si el entrenamiento neuromuscular con gafas de visión estroboscópica era mejor que el entrenamiento neuromuscular sin gafas para mejorar el equilibrio dinámico en personas con CAI (**Artículo II**). También queríamos comprobar si el entrenamiento neuromuscular era mejor que el entrenamiento de fuerza en personas con CAI para mejorar la sensación subjetiva de inestabilidad (**Artículo III**).

4.2 Objetivos específicos:

- Determinar la eficacia de la RPG en sujetos con HAV sintomático de leve a moderado en la mejora de la estabilidad dinámica y el DFROM de tobillo (**Artículo I**).
- Analizar las diferencias entre los resultados de un entrenamiento neuromuscular con gafas de visión estroboscópica y un entrenamiento neuromuscular para mejorar la sensación subjetiva de inestabilidad, el estado funcional y la DFROM del tobillo en personas con CAI (**Artículo II**).
- Comparar los resultados de los métodos de entrenamiento de fuerza y neuromuscular para mejorar el estado funcional, la DFROM de tobillo y el equilibrio dinámico en personas con CAI (**Artículo III**).

CAPÍTULO 5: MATERIAL Y MÉTODOS

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Diseño

- El **Artículo I** fue un Ensayo Controlado Aleatorizado, con un grupo experimental (GE) intervenido con RPG y un grupo control (GC) que no recibió ninguna intervención. Se indicó a los pacientes que continuaran con las actividades habituales de la vida diaria. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética Humana de la Universidad de Jaén y se llevó a cabo siguiendo la Declaración de Helsinki, las buenas prácticas clínicas y las leyes y reglamentos aplicables, y cumple las normas de las directrices CONSORT¹⁰⁸. Se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes que aceptaron ser incluidos en el estudio. La muestra fue obtenida por voluntarios a través de redes sociales y carteles en diferentes sedes de la Universidad y del Hospital. La evaluación se realizó al inicio y después de 4 y 8 semanas por un investigador independiente.
- El **Artículo II** fue un ensayo controlado aleatorizado a ciegas con dos grupos de intervención que consistieron en entrenamiento multimodal del equilibrio (BT) y entrenamiento multimodal del equilibrio junto con gafas estroboscópicas (BTSV), y un grupo control (GC) que no recibió ninguna intervención. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética Humana de la Universidad de Jaén y se llevó a cabo siguiendo la Declaración de Helsinki, las buenas prácticas clínicas y las leyes y reglamentos aplicables, y cumple las normas de las directrices CONSORT¹⁰⁸. Se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes que aceptaron participar en el estudio. Los participantes fueron reclutados mediante anuncios en el periódico de la Universidad, en la página web y de forma oral.
- El **Artículo III** es un ensayo controlado aleatorizado con dos grupos de intervención que consistieron en un entrenamiento neuromuscular (GN) y entrenamiento de fuerza (GF), y un grupo control (GC) que no recibió ninguna intervención. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética

Humana de la Universidad de Jaén el 2018, abril y realizado siguiendo la Declaración de Helsinki, las buenas prácticas clínicas y las leyes y reglamentos aplicables y cumple con las normas de la guía CONSORT¹⁰⁸. Se obtuvo el Consentimiento Informado de todos los participantes y se protegieron todos sus derechos. Se realizó una muestra de voluntarios a través de las redes sociales, de carteles en distintas sedes de la Universidad y del boca a boca.

5.2 Criterios de inclusión y exclusión

- En el **Artículo I**, dado que no hay consenso sobre los criterios de elegibilidad en los enfoques de terapia manual para el HAV, nuestros criterios de elegibilidad para la participación fueron en consonancia con Abdalbarry y cols.⁴⁰, y du Plessis y cols¹⁰⁹.

Los criterios de inclusión de los participantes fueron (A) tener HAV de leve a moderado evaluado con la Escala Manchester³⁵; (B) 18-65 años; (C) HAV dolorosa. Si había HAV bilateral, se incluyó en el estudio el más sintomático y/o el comprendido entre leve y moderado^{40,109}. Los criterios de exclusión de los participantes incluían (A) cirugías en los miembros inferiores; (B) deformidades patológicas del pie no relacionadas con el HAV; (C) haber estado recibiendo tratamiento de fisioterapia para el HAV; (D) padecer enfermedades sistémicas como enfermedades de depósito o artritis reumatoide; (E) artrosis severa; (F) padecer cualquier enfermedad que afectara a la función sensomotora del pie distinta de HAV; (G) padecer cualquier fractura o enfermedad que siguiera afectando al pie; (H) pacientes que toman fármacos antiinflamatorios en los que la terapia manual estuviera contraindicada^{40,109}. Tras la selección de los participantes, los que aceptaron participar en el estudio fueron asignados aleatoriamente al grupo control (sin tratamiento) o al grupo experimental con RPG. Los participantes de ambos grupos fueron instruidos para continuar con sus actividades habituales de la vida diaria.

- En los **Artículos II y III** la elegibilidad para la participación fue coherente con las recomendaciones del International Ankle Consortium⁵⁹, y se

determinó mediante medidas de preselección que incluían (1) un episodio previo de esguince de tobillo al menos 6 meses antes del inicio del estudio, (2) una puntuación de 24 o menos en la escala Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT) para confirmar la sensación actual de inestabilidad de la articulación del tobillo, (3) ningún historial de otras lesiones musculoesqueléticas en las extremidades inferiores y (4) autonomía mental y física para participar en la intervención. Los criterios de exclusión para los participantes fueron (1) disfunción vestibular o relacionada con el equilibrio autodeclarada, (2) un esguince de tobillo agudo en las últimas seis semanas, (3) una cirugía, (4) epilepsia o antecedentes de convulsiones, (5) los participantes fueron excluidos si faltaban a más de 3 sesiones. Si los pacientes presentaban CAI bilateral, se seleccionaba el peor miembro como la extremidad de estudio. Los pacientes que cumplieron los criterios de inclusión y aceptaron participar en el estudio fueron informados sobre el protocolo del estudio y se les aconsejó que mantuvieran su actividad diaria habitual.

5.3 Participantes y aleatorización

- En el **Artículo I** un total de 80 participantes fueron incluidos en el estudio. 40 fueron asignados al GE y los otros 40 al GC. Diez participantes no completaron el estudio por no acudir a las sesiones de tratamiento o de evaluación. Un total de 70 participantes completaron el estudio y fueron incluidos en el análisis estadístico. Un evaluador independiente que no conocía la asignación del grupo completó todas las evaluaciones de los pacientes al inicio y después de la intervención.

Los participantes fueron asignados a cada grupo por un investigador independiente que utilizó un generador de números aleatorios y selló la secuencia de tratamiento en sobres opacos que se abrieron antes de realizar la intervención.

- En el **Artículo II** Un total de 78 participantes se inscribieron en el estudio, con 26 asignados al BT, al BTSV y al GC. Cinco participantes no completaron el estudio. Tres participantes faltaron a más de tres sesiones

de ejercicio y dos no completaron el estudio. La tasa de adherencia en el grupo de intervención fue muy alta, con una asistencia general del 93,59%. Un total de 73 participantes completaron el estudio y fueron incluidos para el análisis estadístico. Un evaluador independiente que no conocía la asignación del grupo completó todas las evaluaciones de los pacientes al inicio y después de la intervención.

Se empleó un generador de números aleatorios por ordenador para asignar a los participantes a los grupos BT, al BTSV o al CG. Los participantes fueron asignados aleatoriamente a cada grupo utilizando sobres opacos sellados que fueron controlados por un investigador independiente que no estaba involucrado en la intervención en una proporción de 1:1:1 antes del comienzo de la intervención.

- En el **Artículo III** total de 67 participantes se incluyeron en el estudio por cumplir los criterios de inclusión y no cumplir los criterios de exclusión. 23 fueron introducidos en el GN, 22 en el GF y 22 en el GC.

La secuencia de intervención fue aleatorizada por un investigador independiente que utilizó un generador de números aleatorios y selló la secuencia de tratamiento en sobres opacos que se abrieron antes de realizar la primera intervención. Todas las intervenciones fueron realizadas por un único fisioterapeuta que no conocía el procedimiento de aleatorización.

5.4 Medidas de resultado

- Control postural estático con plataforma de presiones: los parámetros estabilométricos se midieron en una postura bipodal con una plataforma estabilométrica de sensores resistivos de presión (Sensor Medica). La prueba de Romberg se realizó en condiciones de ojos abiertos (OA) y ojos cerrados (OC). En esta prueba, los participantes debían estar en una postura bipodal descalza con una separación de 2cm entre los talones y un ángulo de 30° entre los pies¹¹⁰. Cada medida consistía en 30s manteniendo la posición de bipedestación, seguidos de 1 min de

descanso entre las pruebas OA y OC y una frecuencia de muestreo de 40 Hz¹¹¹. Los parámetros evaluados estaban relacionados con el CoP tanto en condiciones de OA como de OC: media de los desplazamientos mediolaterales (X) y anteroposteriores (Y) del CoP (mm), y velocidad de movimiento del CoP (v, en mm/s)¹¹¹. Las puntuaciones más pequeñas indican una mayor estabilidad postural⁴⁴ (**Artículo I**).

- Equilibrio dinámico con Star Excursion Balance Test (SEBT): la premisa de utilizar el SEBT es determinar si, al estar de pie sobre el miembro lesionado para mantener la estabilidad, se produce un déficit en la distancia de las diferentes direcciones, lo que indica una deficiencia en el control postural o en el equilibrio dinámico que podría estar asociada a la condición patológica en el miembro de apoyo¹¹². El SEBT ha demostrado ser válido y útil para demostrar los resultados de las intervenciones de ejercicios neuromusculares y de fuerza¹¹². En nuestras mediciones, utilizamos la variante de tres direcciones del SEBT. En esta prueba, el participante tiene que alcanzar la máxima distancia en tres direcciones: Anterior (Ant), Posteromedial (PM) y Posterolateral (PL)¹¹² (**Artículos I, II y III**).
- Weight Bearing Lunge Test (WBLT): los investigadores han demostrado una sólida evidencia de la buena fiabilidad inter- e intrainvestigador del WBLT para evaluar el DFROM de tobillo. Esto sugiere que esta prueba debería utilizarse para evaluar el DFROM, ya que proporciona resultados consistentes y repetibles entre uno o más clínicos^{113,114}. El WBLT consiste en que el paciente se coloque en posición de tándem y realice una zancada hacia delante. Durante esta tarea, el pie implicado permanece firmemente plantado en el suelo mientras la tibia avanza sobre el astrágalo hasta la máxima dorsiflexión. Para cuantificar el DFROM se pueden utilizar diversas técnicas de medición. La técnica de cuantificación del DFROM más común consiste en medir la distancia del dedo gordo del pie a la pared utilizando una simple cinta métrica¹¹³. Mientras se realiza el WBLT, el clínico controla la posición de los pies, las

rodillas y la pelvis, para comprobar que la prueba se ejecuta correctamente¹¹⁴ (**Artículos I, II y III**).

- Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT): para determinar la presencia y la gravedad del CAI, los participantes completaron el Cumberland Ankle Instability Tool, un instrumento válido y fiable para medir la gravedad del CAI. El CAIT es un cuestionario subjetivo de 9 ítems con un rango de puntuación de 0 (inestabilidad severa) a 30 (estabilidad normal)¹¹⁵. Las puntuaciones ≤ 24 muestran sensibilidad y especificidad para identificar a las personas con CAI¹¹⁵ (**Artículos II y III**).
- Foot and Ankle Ability Measure (FAAM): se evaluó el estado funcional en la vida diaria y la función deportiva con el cuestionario de dos dimensiones FAAM y Foot and Ankle Ability Measure and Sport (FAAM-S). Es útil para detectar los déficits funcionales autodeclarados en pacientes con CAI¹¹⁶ (**Artículos II y III**).

5.5 Intervención

- En el **Artículo I** los participantes estuvieron un total de 8 semanas desde la primera evaluación hasta la última. La evaluación se realizó al inicio del estudio y después de 4 y 8 semanas por un investigador independiente.
- Los individuos asignados al GC no recibieron ninguna intervención, y los asignados a GE recibieron tres sesiones basadas en la metodología de RPG.
- Los participantes asignados al grupo de intervención recibieron un tratamiento consistente en un enfoque de RPG dividido en 3 sesiones y realizado con una frecuencia de 1 sesión por semana durante 3 semanas. Las sesiones se realizaron de forma individual, con una duración aproximada de 40 minutos y todas ellas fueron evaluadas por el mismo fisioterapeuta. En la metodología de la RPG se describen varias posturas para realizar el tratamiento en las que el sujeto tiene que participar activamente^{47,48}. Cada sesión se dividió en 5 partes,

según la metodología, sin descanso, progresando en la postura⁴⁷. En esta progresión, las demandas posturales aumentaron durante la ejecución de la tarea con una mayor activación de los músculos intrínsecos del pie¹¹⁷.

- En el **Artículo II**, todos los participantes realizaron un periodo de 6 semanas entre el pre-test y el post-test. El GC no recibió ninguna intervención, mientras que los otros dos realizaron un programa de entrenamiento de 6 semanas basado en diferentes modalidades de ejercicio según el grupo asignado al azar
 - Los participantes del GC no recibieron ninguna intervención en las 6 semanas.
 - El grupo BT realizó un protocolo de ejercicio multimodal supervisado que abordaba diferentes aspectos del equilibrio, incluyendo tareas estáticas y dinámicas en el tobillo lesionado. El programa de entrenamiento constaba de 6 ejercicios con dificultad progresiva en función de la ejecución del paciente, controlada por un fisioterapeuta experto. Los ejercicios se realizaron en un formato de circuito de 20 minutos de duración y todos los participantes completaron 18 sesiones de entrenamiento divididas en 6 semanas. Los ejercicios utilizados han sido incluidos en investigaciones anteriores^{94,97,98} y consisten en un entrenamiento multiestación con 6 ejercicios, aumentando la dificultad progresivamente a medida que los participantes controlaban la ejecución. Los ejercicios se realizaron todos descalzos y con el pie lesionado. Se trataba de una combinación de ejercicios de bipedestación y salto con el tobillo lesionado. Los participantes no iniciaban la siguiente progresión hasta realizar un circuito completo en el nivel anterior.
 - Los participantes del grupo BTSV realizaron el mismo protocolo descrito en el grupo de entrenamiento del equilibrio con la adición de las gafas SV (299 USD, Senaptec LLC, Beaverton, OR, USA) durante la intervención. Los participantes usaron las gafas SV todo el tiempo alternando entre la fase opaca y la transparente con un modo totalmente transparente durante el descanso. La progresión de la dificultad visual iba de 1 a 8 niveles y se determinaba y

ajustaba individualmente por la correcta ejecución del ejercicio durante las 18 sesiones de entrenamiento.

La relación entre la fase opaca/transparente de las gafas se puede controlar fácilmente mediante los botones laterales colocados en las gafas. Se aconsejó a los participantes que participaran en la sesión de entrenamiento con sus gafas o lentes de contacto habituales en el caso de que las usasen. La sesión de entrenamiento se interrumpía si se observaban mareos o cualquier acontecimiento adverso durante la realización del ejercicio.

- En el **Artículo III** todos los participantes realizaron un periodo de 8 semanas entre el pre-test y el post-test. Un grupo no recibió ninguna intervención, mientras que los otros dos realizaron un programa de entrenamiento de 8 semanas basado en diferentes ejercicios según el grupo asignado al azar.
 - Los participantes del GC no recibieron ninguna intervención en las 8 semanas.
 - Los participantes del GN recibieron un entrenamiento multiestación con 6 ejercicios, aumentando la dificultad progresivamente a medida que los participantes controlaban la ejecución. Los ejercicios se realizaron todos descalzos y con el pie lesionado. Se trataba de una combinación de ejercicios de bipedestación y salto con el tobillo lesionado. Los participantes no iniciaban la siguiente progresión hasta realizar un circuito completo en el nivel anterior. Todos los participantes realizaron 16 sesiones de entrenamiento divididas en 8 semanas. Cada sesión necesitó unos 20-25' para ser realizada y todas ellas fueron realizadas con un fisioterapeuta.
 - Los participantes del GF realizaron las sesiones con bandas de resistencia. La banda se sujetaba al tobillo no afectado, mientras que al participante se le indicaba que realizara tirones hacia delante y hacia atrás, así como movimientos de aducción y abducción con el tobillo afectado. Se les dijo que controlaran el movimiento del tobillo y que lo hicieran lentamente. Desde el primer día, se les dijo que realizaran el ejercicio tirando de la banda como si quisieran hacer una resistencia de 5 en una escala de 0 a 10. Todos los

participantes realizaron 16 sesiones de entrenamiento divididas en 8 semanas. Cada sesión necesitó unos 10-15'

5.6 Análisis estadístico

- En el **Artículo I** los análisis estadísticos se realizaron con el software estadístico SPSS, V17.0 (SPSS, Inc.). Se calculó cada variable de interés: valores medios, desviación estandarizada y número de casos. Se utilizó la prueba *t*-student para muestras independientes y la prueba estadística Chi-cuadrado para analizar las diferencias entre ambos grupos. Se empleó un análisis mixto de la varianza para evaluar las diferencias entre los grupos y dentro de ellos. Las variables independientes fueron GC y GE, por lo que GC frente a GE fue el factor entre grupos, mientras que el factor dentro del grupo fue la medición del tiempo (4 y 8 semanas). Las variables dependientes fueron las mediciones estabilométricas en condiciones de OA y OC; las mediciones de SEBT en diferentes direcciones; y la WBLT para la DFROM del tobillo. Se realizaron análisis separados para las variables dependientes para examinar las posibles interacciones entre el tratamiento y el tiempo de medición. Un valor de $p < 0,05$ se consideró estadísticamente significativo. Los tamaños del efecto (ES) entre grupos se calcularon utilizando la *d* de Cohen y se clasificaron como pequeños ($d = 0,2$), medianos ($d = 0,5$), y grande ($d = 0,8$) según los parámetros de Cohen¹¹⁸.
- En el **Artículo II**, para detectar diferencias significativas en el caso de las variables categóricas, se aplicó la prueba de Chi-cuadrado. En el resto de las variables, para detectar diferencias significativas entre los tres grupos, la técnica adecuada es el Análisis de la Varianza (ANOVA). Para que las conclusiones sean válidas en esta técnica, es necesario verificar una serie de supuestos. Los residuos del modelo tienen que cumplir las siguientes hipótesis: normalidad, aleatoriedad, independencia y homocedasticidad.
Se ha utilizado la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar la hipótesis de normalidad y la prueba de Levene para comprobar la hipótesis de homocedasticidad. En los casos en los que no se verifica una de las dos hipótesis, no se puede aplicar la técnica ANOVA, ya que los resultados no serían fiables. En estos casos, la técnica ANOVA fue sustituida por la prueba de Kruskal-Wallis. En

los casos en que se verifican estas dos hipótesis, se aplicó la técnica ANOVA. Por otra parte, cuando el ANOVA o la prueba de Kruskal-Wallis son significativos (valor $p < 0,05$) indican que hay diferencias significativas entre al menos un par de grupos. Para determinar exactamente entre qué grupos hay diferencias significativas, completamos el estudio con los métodos de comparaciones múltiples o comparaciones post-hoc. Utilizamos dos técnicas post-hoc: en los casos en que se verificó la hipótesis de homocedasticidad, se aplicó la prueba HSD Tukey. En los casos en que no se verificó, se aplicó la prueba de Games-Howell (porque esta técnica es más adecuada cuando no se verifica la hipótesis de homocedasticidad). Además, para llevar a cabo el estudio de las puntuaciones de cambio dentro del grupo, se calcularon los intervalos de confianza para la diferencia de medias para muestras emparejadas o dependientes, las pruebas de hipótesis para dos muestras dependientes o emparejadas y la D de Cohen.

El nivel alfa se fijó a priori en $p < 0,05$. El análisis estadístico se realizó con el programa informático SPSS, versión 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE.UU.). El nivel α se fijó en $p < 0,05$ para todas las pruebas.

Se estimó un número necesario de 21 participantes con CAI por grupo para garantizar una potencia de 0,80 con un nivel de significación del 95%, basándose en un cambio mínimo detectable de 4.28 cm en la dirección posterolateral de la SEBT⁸⁷, pero se inscribieron 26 participantes por grupo en el estudio debido a una posible tasa de abandono del 20%.

- En el **Artículo III**, todos los análisis se realizaron con el software estadístico IBM SPSS 24.0 (IBM Corp, Armonk, NY, EE.UU.). Se empleó la prueba de Shapiro-Wilk para confirmar la distribución normal de las variables continuas ($n < 50$). Se realizaron pruebas ANOVA de una vía para las variables continuas (si se verificaba la hipótesis de normalidad) y pruebas de Kruskal-Wallis para las variables categóricas (en ausencia de normalidad) para examinar las diferencias entre los 3 grupos: entrenamiento neuromuscular, entrenamiento de fuerza y control. Para detectar diferencias entre grupos se aplicaron comparaciones múltiples o post-hoc.

Para cada una de las variables de resultado (CAIT, FAAM y FAAM-S, DFROM y SEBT), se realizó un ANOVA de dos vías (Grupo y Tiempo) con medidas repetidas

para determinar los efectos del tratamiento entre los grupos. Se realizó la prueba HSD Tukey post hoc para localizar diferencias específicas en presencia de interacciones o efectos principales significativos. Para evaluar los tamaños del efecto dentro de los grupos, se calcularon los tamaños de efecto d de Cohen. La fuerza de los efectos del tratamiento se interpretó utilizando el tamaño del efecto d de Cohen como débil ($\leq 0,2$), pequeño (0,2 a 0,5), moderado (0,5 a 0,8) y grande ($> 0,8$) según los puntos de referencia de Cohen¹¹⁸. El nivel de alfa se fijó a priori en $p < 0,05$.

CAPÍTULO 6: RESULTADOS

6. RESULTADOS

- Tras 3 sesiones de tratamiento con RPG en personas con HAV sintomático, los resultados no mostraron efectos principales significativos en XOA, XOC, YOA, YOC, VOA, VOC, WBLT, SEBT.ANT, SEBT.PM y SEBT.PL sobre el Tiempo, Grupo, y Grupo por tiempo a las 4 semanas. Sin embargo, los resultados de XOA y XOC mostraron mejoras a las 8 semanas en el GE con ES medio: $t(36) = 2,892, p = 0,006, d = 0,67$; y ES pequeño: $t(36) = 2,349, p = 0,024, d = 0,42$, respectivamente. La comparación entre los grupos en el XOC mostró mejoras en el GE después de la intervención con un ES medio: $t(68) = 2,280, p = 0,026, d = 0,54$. A las 8 semanas, los resultados en YOA y YOC no mostraron efectos significativos en la interacción Grupo y Grupo por Tiempo. Se encontraron efectos significativos en la variable YOA, pero no en YOC. Hubo mejoras en el VOA y el VOC en el GE con una pequeña ES: $t(36) = 2,178, p = 0,036, d = 0,38$; y $t(36) = 2,057, p = 0,047, d = 0,37$. Los resultados mostraron mejoras en el WBLT en el GE después de la intervención a las 8 semanas con ES medio: $t(36) = -2,869, p = .007, d = 0,54$. Hubo mejoras en SEBT.ANT y SEBT.PL a las 8 semanas con ES pequeños: $t(36) = -2,445, p = 0,019, d = 0,26$; y $t(36) = -3,581, p < 0,001, d = 0,39$, respectivamente. Los resultados en SEBT.PM a las 8 semanas mostraron mejoras en el GE con gran ES: $t(36) = -11,275, p < .001, d = 1,04$ (**Artículo I**).

- Tras 6 semanas de BT y de BTSV se vio que tanto en el grupo BT como en el grupo BTSV, existen diferencias significativas en la media de todas las variables comparando los valores al principio y al final del estudio, de forma que el valor de la media al final del estudio es mayor que al principio en todas las variables. Por el contrario, en el grupo 3 (GC), no existen diferencias significativas entre las medias al principio y al final del estudio. Por otro lado, en esta misma tabla, en todas las variables hay diferencias significativas en los grupos BT y BTSV con el GC, de tal manera que las medias de estas variables en dichos grupos son mayores que en el GC. En cuanto a los resultados obtenidos en las variables SEBT-Ant y

CAIT, también hay diferencias significativas entre BT y BTSV, con $\mu_1 < \mu_2$ (**Artículo II**).

- Después de 8 semanas de entrenamiento neuromuscular (GN) y de fuerza (GF), las puntuaciones de cambio intra-grupo mostraron diferencias significativas para el GN y el GF en todas las variables entre la línea de base y la post-intervención. El grupo de control también mostró diferencias en la dirección anterior de las variables SEBT y CAIT después de 8 semanas. El análisis entre grupos mostró diferencias significativas entre los grupos de fuerza y de control sólo en tres variables: dirección posteromedial de la SEBT con un tamaño del efecto grande ($p=0,012$; IC 95%=0,715, 6,998); FAAM con un tamaño del efecto grande ($p=0,041$; IC 95%=0,20, 11,94); y FAAM-S con un tamaño del efecto grande ($p=0,012$; IC 95%=1,21, 11,42) (**Artículo III**).

CAPÍTULO 7: DISCUSIÓN

7. DISCUSIÓN

El objetivo general de esta Tesis Doctoral fue analizar si el tratamiento con RPG podría ayudarnos a mejorar el control postural estático de las personas con HAV (**Artículo I**). Además, queríamos saber si el entrenamiento neuromuscular con gafas de visión estroboscópica era mejor que el entrenamiento neuromuscular sin gafas para mejorar el equilibrio dinámico en personas con CAI (**Artículo II**). También queríamos comprobar si el entrenamiento neuromuscular era mejor que el entrenamiento de fuerza en personas con CAI para mejorar la sensación subjetiva de inestabilidad (**Artículo III**).

7.1. Control Postural Estático

El **Artículo I** analizó los efectos de 3 sesiones de tratamiento con RPG en personas con HAV sintomático y vieron que 8 semanas después de dicha intervención, los participantes en el grupo experimental mejoraron su control postural estático en las condiciones OA y OC, pero no hubo mejoras después de 4 semanas, que fue justo al acabar las sesiones de tratamiento. Una explicación plausible podría ser que se necesita más tiempo para la integración del estímulo recibido por el SNC. La intervención para el HAV consistió en una intervención multimodal que incluía terapia manual y contracciones musculares combinadas con movilización de tejidos y articulaciones siguiendo los principios de la RPG.

Nuestros resultados han demostrado que el tratamiento con RPG mejora los parámetros mediolaterales en la posición bipodal y en las condiciones OA y OC con un ES moderado y pequeño ($d = 0,67$ y $d = 0,42$, respectivamente) después de 8 semanas. Estas mejoras en las oscilaciones mediolaterales podrían estar presentes debido a los mecanismos neurofisiológicos subyacentes a la terapia manual, que estimula receptores cutáneos, articulares y musculares, además de la activación muscular, que ha demostrado ofrecer mejoras en el control postural

y el equilibrio dinámico^{38,119-123}. Estos resultados positivos podrían estar relacionados con una disminución del riesgo de caídas^{18,19,36,37} y de lesiones^{16,17}.

Akaras y cols.⁴⁴, no encontraron diferencias entre las condiciones de no tape, sport tape y tape de Mulligan para el control postural estático en las oscilaciones anteroposteriores, lo que coincide con nuestros resultados y con la literatura anterior^{18,19}. Otras investigaciones no encontraron mejoras ni en las oscilaciones mediolaterales ni en la velocidad de balanceo en las condiciones de tape para la HAV^{44,46}, en contraste con nuestros resultados, lo que sugiere que la RPG podría ser superior a la intervención de tape. Una explicación plausible de estos resultados podría ser la combinación de la activación muscular activa del paciente y la aplicación de la terapia manual. Estudios anteriores mostraron mejoras en el control postural de las personas con CAI cuando se les aplicó el masaje plantar¹²⁴, lo que podría estar relacionado con los mecanismos neurofisiológicos subyacentes a la estimulación de los receptores cutáneos plantares^{38,121}. Estos hallazgos coinciden con los resultados obtenidos en nuestro estudio, en el que la intervención con RPG combina la estimulación de los receptores plantares y articulares, lo que da lugar a resultados superiores debido a esta combinación^{38,121}.

En cuanto al papel de la activación muscular en el control postural, Lynn y cols.¹²³, no encontraron diferencias entre las oscilaciones mediolaterales en individuos sanos al realizar el entrenamiento de la musculatura intrínseca del pie. Esto contrasta con los resultados obtenidos tras la intervención de RPG y podría explicarse porque durante nuestra intervención los pacientes activan la musculatura intrínseca y extrínseca del pie, que se ha considerado que desempeña un papel importante en el control postural⁶.

7.2. Equilibrio dinámico

Los **Artículos I, II y III** evaluaron la efectividad de diferentes tratamientos enfocados al aumento de las capacidades del pie y tobillo. El **Artículo I** mostró mejoras en el equilibrio dinámico a las 8 semanas de un tratamiento con RPG, lo que podría deberse a los mecanismos neurofisiológicos que subyacen a la estimulación manual de los receptores plantares y articulares^{38,119-121} y a la combinación con la activación muscular^{122,123}. La literatura informa de que el tape rígido mejora el equilibrio dinámico en personas con deformidad del HAV^{44,46}. También hay pruebas que apoyan que el masaje plantar y las movilizaciones articulares mejoran el equilibrio dinámico de una sola extremidad en pacientes con CAI^{125,126}. Nuestros hallazgos en el equilibrio dinámico coinciden con los resultados mencionados anteriormente y podría deberse a que tanto las intervenciones manuales como las de tape podrían mejorar la información propioceptiva de los receptores cutáneos y articulares^{38,44,46,126}.

Investigadores anteriores también han demostrado mejoras en el equilibrio dinámico cuando se entrenan los músculos intrínsecos del pie en la población sana¹²³, individuos con pies excesivamente pronados¹²⁷ y sujetos con CAI¹²², que coinciden con los resultados de nuestro estudio debido a las activaciones isométricas del foot core.

Estos resultados coinciden con los obtenidos en los **Artículos II y III**. En el **Artículo II** encontramos que tanto el grupo de BT como el de BTSV tuvieron grandes efectos en las distancias del alcance del SEBT en todas las direcciones. Estas mejoras parecen ser consistentes con estudios anteriores de BT^{85,128-131}. Curiosamente, el **Artículo II** encontró que la incorporación de SV en BT indujo un gran efecto adicional ($d = 1.2$, 95% IC = 4.8, 1.27) en la distancia de alcance anterior en comparación con BT solo. En cambio, no encontramos efectos significativos del SV en otras direcciones.

Además de ello, en el **Artículo III** obtuvimos mejoras después de la intervención en el equilibrio dinámico cuando se midió con SEBT en todas las direcciones tanto en el GN como en el GF. De acuerdo con estudios anteriores y con el **Artículo II**, nuestro entrenamiento neuromuscular mejoró el equilibrio dinámico en comparación con la línea de base y podría ser una forma eficaz de prevención secundaria para el esguince de tobillo recurrente en poblaciones deportivas con CAI^{87,132}. Nuestros resultados coinciden con los datos comunicados por Docherty y cols.¹⁰², quienes encontraron que un programa de fortalecimiento de 6 semanas aumenta la fuerza, el sentido de la posición articular (joint position sense, JPS) en inversión, el JPS en dorsiflexión y el JPS en flexión plantar en sujetos con tobillos funcionalmente inestables. El estímulo proporcionado a los mecanorreceptores situados en la unión miotendinosa, debido a la fuerza producida durante el entrenamiento, puede desempeñar un papel importante en el déficit de propiocepción, las vías somatosensoriales y, por tanto, podría mejorar el equilibrio dinámico en pacientes con CAI^{101,103}. Por el contrario, Hall et al, 2015¹³³ mostraron que el entrenamiento de fuerza podía no ser eficaz para mejorar el equilibrio dinámico en individuos con CAI en comparación con el grupo de control, lo que está parcialmente de acuerdo con nuestros resultados en las direcciones anterior y posterolateral. Una intervención de entrenamiento de fuerza aislado podría ser beneficiosa para activar algunos grupos musculares como los peroneos y tibiales, cuya coactivación es muy importante para la prevención de esguinces de tobillo y el estado funcional en pacientes con CAI. Sin embargo, el equilibrio dinámico no sólo depende de la fuerza muscular de un grupo, sino que requiere una coordinación global de todo el cuerpo, incluyendo el CORE, la cadera o los estabilizadores de la rodilla. Luan y cols. obtuvieron resultados diferentes,¹⁰⁴ y encontraron que el entrenamiento del equilibrio podría ser superior al entrenamiento de fuerza y a la ausencia de entrenamiento en el SEBT. El **artículo III** mostró diferencias entre grupos en el SEBT sólo cuando se comparó el GF y el GC en la dirección PM del SEBT. Estos resultados podrían

explicarse teniendo en cuenta la mejora observada en el GC que podría estar relacionada con las características de la población (población activa).

7.3. DFROM de tobillo

Los **artículos I, II y III** analizaron la eficacia de los diferentes tipos de tratamiento sobre el DFROM de tobillo, puesto que una limitación en este plano podría dar lugar a diferentes lesiones y/o caídas, siendo que tanto el HAV como la CAI pueden estar relacionadas con este déficit^{3-8,10-14,18,27}.

Los resultados del **artículo I** muestran mejoras en la DFROM del tobillo con una ES media ($d = 0,54$) después de 8 semanas y coinciden con los comunicados por Abdalbary⁴⁰, que investigó el efecto de la terapia manual combinada con ejercicios activos y el separador de dedos. Además, se ha demostrado que el alcance anterior del SEBT podría estar influenciado negativamente por una disminución del DFROM del tobillo y, aunque se estudió en personas con CAI¹³⁴⁻¹³⁶, nuestros resultados en el **artículo I** muestran mejoras tanto en el alcance anterior del SEBT como en el DFROM del tobillo. Los resultados positivos de nuestro estudio podrían estar relacionados con la información propioceptiva proporcionada por los receptores mecánicos articulares y las respuestas del SNC al realizar movilizaciones combinadas con activaciones musculares^{38,40,126}. Esto coincide con otras investigaciones realizadas sobre personas con CAI en las que se les aplicaba movilizaciones pasivas o movilizaciones con movimiento, con resultados positivos sobre la DFROM de tobillo^{125,126,137}..

En el **artículo II** encontramos grandes mejoras en ambos grupos de entrenamiento en comparación con el GC (BT: $d = 1.87$, BTSV: $d = 1.52$), pero no hubo diferencias estadísticamente significativas entre BT y SV. Este beneficio mecánico asociado a la BT puede atribuirse a los componentes de control postural dinámico de la BT (es decir, el alcance y el salto) en estos estudios. Investigaciones anteriores establecieron una relación entre el DFROM y el equilibrio dinámico en

pacientes con CAI¹³⁴⁻¹³⁶. Es plausible que las actividades dinámicas progresivas durante el BT en el estudio actual requirieran un aumento de los movimientos del tobillo y dieran lugar a la mejora del DFROM. Desde esta perspectiva, el BT es versátil para mejorar la DFROM al tiempo que aborda otros déficits sensoriomotores (o reportados por los pacientes)^{106,138,139}.

En el **artículo III** hubo mejoras en la DFROM al comparar los datos de partida en GN y GF, pero el cambio no fue suficiente para ser considerado como estadísticamente significativo en comparación con el GC. Aquí nos encontramos con una controversia con respecto al **artículo II** en el que un entrenamiento con unas características similares al del GN en el **artículo III** mejoraba el DFROM de tobillo. Esta diferencia en los resultados podría deberse a que la muestra del **artículo III** tenían un CAIT relativamente bajo y podría haber influido en la recuperación.

7.4. Sensación subjetiva de inestabilidad

Tanto el **artículo II como el III** evaluaron la sensación subjetiva de inestabilidad con el CAIT. En el **artículo II** se observó una mejora adicional en la puntuación del CAIT tras la BTSV, mientras que en el **artículo III** no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos de intervención.

El CAIT es un instrumento que proporciona una puntuación concreta para confirmar la inestabilidad del tobillo autodeclarada, que es ≤ 24 , y su puntuación se utiliza a menudo para determinar un nivel de inestabilidad percibida del tobillo, en el que una puntuación más baja indica una mayor inestabilidad^{140,141}. Por estas razones, la evaluación de la gravedad de la inestabilidad percibida con el CAIT se ha utilizado cada vez más en la rehabilitación de CAI^{85,87,142}. Investigaciones anteriores han demostrado que el entrenamiento del equilibrio produce sistemáticamente grandes efectos en las puntuaciones del CAIT en pacientes con CAI^{85,87,141}.

Los Resultados del **artículo II** mostraron gran efecto en el pre-post del grupo que sólo recibió BT ($d = 1.19$). Además, la gran mejora puede ser un cambio clínicamente significativo, ya que el tamaño de la mejora (5.56 puntos) supera su valor establecido de diferencia mínima clínicamente importante (MCID) (3 puntos)¹¹⁵. No obstante, el entrenamiento del equilibrio por sí solo puede no ser suficiente, ya que la adición de la SV al BT disminuyó aún más la inestabilidad percibida del tobillo, como indica la diferencia moderada ($d = 0.72$) entre la BT y la BTSV en las puntuaciones de cambio pre-post. Este hallazgo es único porque la perturbación visual durante el entrenamiento del equilibrio por imitación del input visual en la mitad con SV puede afinar aún más el sistema de control postural y hacer que los participantes con CAI sientan menos inestabilidad en el tobillo. A pesar del efecto prometedor del SV sobre la inestabilidad percibida del tobillo, se justifica una investigación adicional para determinar si este efecto perceptivo está relacionado con una disminución del número de episodios de “giving way” del tobillo o de las lesiones posteriores del tobillo.

A la hora de analizar el **artículo III**, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos de intervención, lo que es similar a los resultados de investigaciones anteriores⁸⁵ y contrasta con otros estudios en los que el grupo de entrenamiento neuromuscular fue superior al de fuerza en las puntuaciones del CAIT^{104,105}. Sin embargo, es posible identificar mayores mejoras en GN respecto a GF con un tamaño del efecto $d=0.23$. Ambos grupos de intervención superaron la MCID con una ligera pero no estadística superioridad de GN vs GF (GN=6.609 IC 95%=4.281, 8.936; GF=6.591 IC 95%=4.889, 8.293). Las puntuaciones finales del CAIT no alcanzaron el punto de corte de 24 para ser considerados como pacientes con estabilidad autodeclarada, por lo que no hubo remisión completa. La gravedad de los pacientes asignados a estos grupos puede ser una explicación plausible de estos resultados.

7.5. Estado funcional

Los **artículos II y III** analizaron el impacto de sus intervenciones en el estado funcional y se encontró que, en el **artículo II**, tras la BTSV, no observamos ninguna diferencia significativa entre los grupos de entrenamiento en cuanto a la funcionalidad percibida de tobillo, cuantificada por las puntuaciones del FAAM. Sin embargo, ambos grupos de entrenamiento aumentaron significativamente sus puntuaciones FAAM-S (cambio pre-post BT: 16.4 pts, cambio pre-post BTSV: 17.9 pts) y los efectos del entrenamiento fueron grandes (BT: $d = 2.64$, BTSV: $d = 2.60$) y mayores que su valor MCID establecido (9 pts)¹⁶. De forma similar, ambos grupos de entrenamiento produjeron grandes efectos significativos en la puntuación FAAM, pero la mejora tras el BT aislado no fue mayor que su valor MCID (8 pts) mientras que el BTSV indujo un efecto mayor que el MCID⁸⁵. Estos resultados indican que el BT por sí solo es adecuado para conseguir cambios clínicamente significativos en la función percibida del tobillo durante las actividades deportivas, pero puede no serlo para las actividades de la vida diaria, que pueden beneficiarse de una terapia adicional como la SV. Encontramos una mejora moderada adicional ($d = 0.56$) en la puntuación FAAM en el BTSV en comparación con el BT, pero la diferencia de grupo no fue concluyente porque su IC del 95% (-9.82 a 1.05) cruzó el cero.

En cuanto a los resultados del **artículo III**, parece ser que la intervención en GN mostró mayores puntuaciones de cambio dentro del grupo que el GF y el GC, lo que coincide con Ardakani y cols.¹³¹, que obtuvieron resultados similares en una intervención consistente en el entrenamiento de saltos y estabilización en las subescalas FAAM y FAAM-S.. Esto sugiere que la intervención GN podría ser recomendable debido a la compleja etiología de la CAI frente a una intervención más aislada. En cuanto al GF, los resultados obtenidos en FAAM y FAAM-S coinciden con los resultados descritos por Hall y cols,¹⁰⁶ con una intervención similar basada en la fuerza. Una reciente revisión sistemática¹⁰⁴ no encontró

mejoras en los resultados de FAAM y FAAM-S después de un protocolo de entrenamiento de fuerza, pero estos protocolos de entrenamiento eran heterogéneos y concluyeron que se necesitaba más investigación.

CAPÍTULO 8: LIMITACIONES Y PROSPECTIVA

8. LIMITACIONES Y PROSPECTIVA

- La principal limitación del **Artículo I** es la evaluación a corto y medio plazo. Los estudios futuros deberían examinar los resultados a largo plazo del tratamiento con RPG para determinar el mantenimiento de la mejoría en el tiempo. Además, los próximos estudios deberían evaluar la situación psicológica, el dolor y la calidad de vida. Esta patología podría afectar al autoconcepto y la calidad de vida de los pacientes y debería abordarse en un modelo biopsicosocial¹⁴³.
- Aunque el **Artículo II** muestra resultados prometedores para el uso de la SV en pacientes con CAI, reconocemos que pueden producirse efectos placebo en el grupo de BTSV. Este ha sido el mayor reto en la literatura de entrenamiento de SV, ya que puede ser imposible cegar a los participantes o a los terapeutas a la experiencia visual¹⁴⁴. Se podría argumentar que se puede hacer una condición de placebo con SV constante (la frecuencia de los bloqueos visuales se fija en el ajuste más fácil) en contraposición a la condición de entrenamiento activo con SV variable (la frecuencia varía). Aunque esta idea parece muy atractiva, un estudio reciente¹⁴⁵ examinó estas dos condiciones de SV y no informó de diferencias en la función visual y física. Algunos autores sugieren que la mera interrupción de la entrada visual, independientemente de si es constante o variable, es lo suficientemente fuerte como para inducir los efectos esperados⁹¹.

Los resultados del estudio se limitan a los efectos del ensayo de 6 semanas. Se desconoce si los efectos del entrenamiento de SV encontrados en el estudio actual pueden durar o desaparecer a largo plazo (por ejemplo a los 6 meses) y cómo algunos factores como la edad, el sexo o la dominancia de las extremidades podrían influir en las variables estudiadas. Otros estudios que evalúen los efectos a largo plazo y la aplicación en diferentes lesiones podrían demostrar la eficacia del entrenamiento de SV. Identificar a los dominantes

frente a los no dominantes en la línea de base podría ser beneficioso para determinar la diferencia en la eficacia de la intervención a lo largo del tiempo.

- En el **Artículo III** Las limitaciones de esta investigación fueron que no había posibilidad de controlar las actividades de la vida diaria de los participantes y nuestra población de estudio era físicamente activa, lo que podría influir en los resultados obtenidos, especialmente en el GC debido a sus actividades físicas habituales. Además, el control de la intensidad objetivo para calcular el volumen de entrenamiento de cada paciente resultó difícil.

También podrían haber influido las creencias y expectativas previas del paciente sobre la CAI y el tratamiento habitualmente recibido y cómo la creencia popular puede influir en la satisfacción con el tratamiento recibido y en los resultados de las variables estudiadas.

CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES

9. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos sugieren que el método RPG es eficaz para mejorar los resultados de HAV de leve a moderado en los parámetros de control postural como los desplazamientos mediolaterales y la velocidad de desplazamiento del CoP. También mejora el equilibrio dinámico en las tres direcciones y el DFROM del tobillo (**Artículo I**).
- El presente estudio proporciona resultados preliminares y a corto plazo para demostrar que los pacientes con CAI pueden beneficiarse de un entorno de rehabilitación visualmente desafiante, creado por SV (interrupción visual rápida y repetitiva). La incorporación de la SV en BT mostró algunas mejoras (grandes efectos) en los pacientes con CAI con respecto a la inestabilidad percibida del tobillo y el control postural dinámico (es decir, el alcance anterior durante el SEBT) en relación con el BT aislado, mientras que ambas intervenciones (BTSV y BT aislado) produjeron grandes efectos terapéuticos en todos los resultados (es decir, CAIT, FAAM, SEBT y DFROM) (**Artículo II**).
- Nuestros resultados sugieren que hay mejoras en GN y GF cuando se comparan con la línea de base, obteniendo diferencias significativas respecto al GC en el estado funcional y la dirección posteromedial en el equilibrio dinámico en los pacientes con GF. Aunque se observaron algunas diferencias entre los grupos de intervención, no es posible establecer una relación de superioridad entre ninguno de ellos en población activa con CAI (**Artículo III**).



CAPÍTULO 10: ARTÍCULOS

ARTÍCULO I

EFFECTS OF GLOBAL POSTURAL REEDUCATION ON POSTURAL CONTROL, DYNAMIC BALANCE, AND ANKLE RANGE OF MOTION IN PATIENTS WITH HALLUX ABDUCTO VALGUS. A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL

RESEARCH ARTICLE

Effects of global postural reeducation on postural control, dynamic balance, and ankle range of motion in patients with hallux abducto valgus. A randomized controlled trial

Alejandro Estepa-Gallego¹ | Alfonso Javier Ibañez-Vera¹ |
 María Dolores Estudillo-Martínez² | Yolanda Castellote-Caballero¹  |
 Marco Bergamin³ | Stefano Gobbo³ | Miguel Ángel Lérica-Ortega¹ |
 David Cruz-Díaz^{1,4} 

¹Department of Health Sciences, Faculty of Health Sciences, University of Jaén, Jaén, Spain

²Department of Statistics, Faculty of Experimental Sciences, University of Jaén, Jaén, Spain

³Department of Medicine, University of Padova Palazzina ex SemeioticaMedica-Via Ospedale Civile, Padova, Italy

⁴Department of Physical Activity and Sport, Faculty of Sport Sciences, Campus of Excellence Mare Nostrum, Universidad de Murcia, Murcia, Spain

Correspondence

Yolanda Castellote-Caballero, Department of Health Sciences, University of Jaén, E-23071 Jaén, Spain.

Email: mycastel@ujaen.es.

Funding information

Asociación Española de RGP

Abstract

Hallux abducto valgus (HAV) is a common musculoskeletal disorder that has been addressed surgically. Nevertheless, the manual therapy approach may play an important role in the management of this condition. The present study aimed to determine the effectiveness of global postural reeducation (GPR) in subjects with symptomatic mild to moderate HAV in static postural control, dynamic stability, and ankle dorsiflexion range of motion (DFROM). A total of 80 patients with mild to moderate symptomatic HAV were allocated to the intervention group (GPR) or control group (CG) (no treatment) for 8 weeks. Outcome measures were assessed at baseline at 4 and 8 weeks including static postural control (Romberg test), dynamic balance (Star Excursion Balance Test [SEBT]), and ankle DFROM (Weight-Bearing Lunge Test [WBLT]). No improvements were observed at 4 weeks, but there were improvements at 8 weeks in: static postural control mediolateral displacement (X) of center of pressure (CoP) in both eyes open (EO) and eyes closed (EC): XEO ($t(36) = 2.892, p = .006, d = 0.67$); XEC ($t(68) = 2.280, p = .026, d = 0.54$); and velocity (V) of CoP displacement: VEO ($t(68) = 2.380, p = .020, d = 0.57$); VEC ($t(36) = 2.057, p = .047, d = 0.37$). It were also improvements in: WBLT ($t(36) = -2.869, p = .007, d = 0.54$) and SEBT at three directions (anterior, ANT; posteromedial, PM; and posterolateral, PL): SEBT.ANT ($t(36) = -2.292, p = .028, d = 0.23$); SEBT.PM ($t(36) = -4.075, p < .001, d = 0.43$); SEBT.PL ($t(62) = -3.506, p = .001, d = 0.34$). The present study showed that GPR compared to the CG might be effective in enhancing ankle function including postural control, dynamic balance, and DFROM.

KEYWORDS

dynamic balance, global postural reeducation, hallux abducto valgus, postural control, range of motion

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© 2021 The Authors. *Journal of Orthopaedic Research*® published by Wiley Periodicals LLC on behalf of Orthopaedic Research Society.

1 | INTRODUCTION

Hallux abducto valgus (HAV) is defined as a static subluxation of the first metatarsophalangeal joint with lateral deviation of the great toe and medial deviation of the first metatarsal.¹ It is the most frequent foot pathology with a prevalence of 30% in women and 13% in men and it tends to increase with age.¹ HAV exists when there is an angle of $\geq 15^\circ$ between the longitudinal bisection of the first proximal phalangeal bone and the first metatarsal.² Severity can be classified in degrees or Manchester Scale (MS) grades: $<15^\circ$ no HAV deformity (MS Grade 1); $15\text{--}20^\circ$ mild HAV deformity (MS Grade 2); $21\text{--}39^\circ$ moderate HAV deformity (MS Grade 3); $\geq 40^\circ$ severe HAV deformity (MS Grade 4).³

The etiology is unknown, but it has been related to the pronated foot, metatarsophalangeal osteoarthritis, intrinsic foot musculature strength deficits,⁴ genetics⁵ big toe pain,^{4,5} and the use of some kind of shoes including heels or narrow shoes.⁶ HAV may lead to pain,⁷ postural control alteration,⁸ increased risk of falls,^{7,9} and associated risk of foot injury due to plantar pressure alteration resulting from the altered morphology^{7,8,10} and biomechanics.⁷

Foot joints, muscles, and plantar mechanoreceptors are very important in feedback and feedforward mechanisms so, if they are altered, proprioception and postural control could be negatively affected.^{8,10} If there are alterations of gait and plantar pressure peaks, load distribution of the foot can be modified, and this is related to metatarsalgia, HAV, or risk of falls.^{7,9} When HAV deformity exists, postural stability decreases, specially mediolateral stability⁸ which could also be related to musculature strength deficits.^{4,11,12}

Regarding the therapeutic approach of patients with HAV, the most common treatment is surgery.¹³ Current literature includes joint mobilizations, exercise, ice, and orthopedics implements that involve toes separator and night splints at the early stages of the pathology but until recently this is the first study addressing the effectiveness of manual therapy approach on this pathology.^{13,14} global postural reeducation (GPR) method consists of a combination of manual therapy and therapeutic exercise in which a pretension of the targeted myofascial chain is maintained, while the participant holds a specific treatment posture isometrically.^{15,16} GPR is effective in the management of several musculoskeletal disorders including temporomandibular dysfunction, urinary incontinence, and spine injuries.^{16,17} There was no previous research addressing the effectiveness of this method in subjects with HAV, but it may be helpful for the conservative management of this condition taking into account the aforementioned literature.

Therefore, the present study aimed to determine the effectiveness of GPR in subjects with symptomatic mild to moderate HAV in static postural control, dynamic stability, and ankle dorsiflexion range of motion (DFROM).

2 | METHODS

2.1 | Design

This study was a Randomized Controlled Trial, with an experimental group (EG) consisted of GPR and a CG that received no intervention. Patients were told to continue with their usual daily life activities. The study (NCT04468555) was approved by the Human Ethics Committee of the University of Jaén and conducted following the Declaration of Helsinki, good clinical practices, and applicable laws and regulations and meets the CONSORT guidelines standards.¹² Informed consent was obtained for all participants who accepted to be enrolled in the study. The sample was obtained by volunteers via social networks and posters in different University and Hospital locations.

2.2 | Outcome measures

The assessment was performed at baseline and after 4 and 8 weeks by an independent investigator. Sociodemographic and baseline data are described in Table 1.

2.2.1 | Static postural control

Stabilometric parameters were measured on a bipodal stance with a stabilometric platform of pressure resistive sensors (Sensor Medica). The Romberg test was performed in eyes open (EO) and eyes closed (EC) conditions. In this test, participants should be in a barefoot bipodal stance with a 2 cm separation between heels and an angle of 30° between the feet.¹⁸ Each measure consisted of 30 s of holding the stand position, following by 1 min of rest between EO and EC tests and a sampling frequency of 40 Hz.¹⁹ The assessed parameters were related to the center of pressure (CoP) in both EO and EC conditions: mediolateral (X) and anteroposterior (Y) mean displacements of the CoP (mm), and velocity of CoP movement (v , in mm/s).¹⁹ Smaller scores indicate better postural stability.²⁰

2.2.2 | Dynamic balance

was examined with the Star Excursion Balance Test (SEBT). It was assessed the three reach directions of the SEBT simplified version because it has been reported to be a reliable tool for measuring dynamic balance in people with lower-limb dysfunction with excellent test-retest reliability.²¹ The test is performed while standing on a barefoot single-leg position with the affected limb positioned in the middle of the SEBT grid while the participant reaches the longest distance possible for all the three directions as described by Gribble et al.²¹ Low scores are related to an increased risk of injury in the lower limb.²¹ This test has been widely employed for monitoring the effectiveness of different physiotherapy approaches in dynamic balance.^{21,22}

2.2.3 | Ankle DFROM

The Ankle DFROM was assessed with the Weight-Bearing Lunge Test (WBLT), which involves the participant standing on a tandem stance while performing a forward lunge.²³ During this task, the involved foot remained firmly planted on the ground as the tibia progressed over the talus into maximum ankle DFROM and the maximum distance from the great toe to the wall is measured.²³ While performing the WBLT, the clinician controlled the position of the feet, the knees, and the pelvis to check the correct execution.²³ It has been reported that WBLT is a valid test and has good reliability and reproducibility, being widely employed for monitoring change over time in manual therapy, including plantar

massage and joint mobilization for subjects with CAI and sport-based intervention.^{24,25} Previous research has shown that WBLT is correlated with dynamic postural control measures.²⁶

2.3 | Participants and allocation

Participants were allocated by an independent investigator who used a random number generator and sealed the treatment sequence in opaque envelopes that were opened before performing the first intervention. As there is no consensus for eligibility criteria in manual therapy approaches for HAV, our participation eligibility criteria were

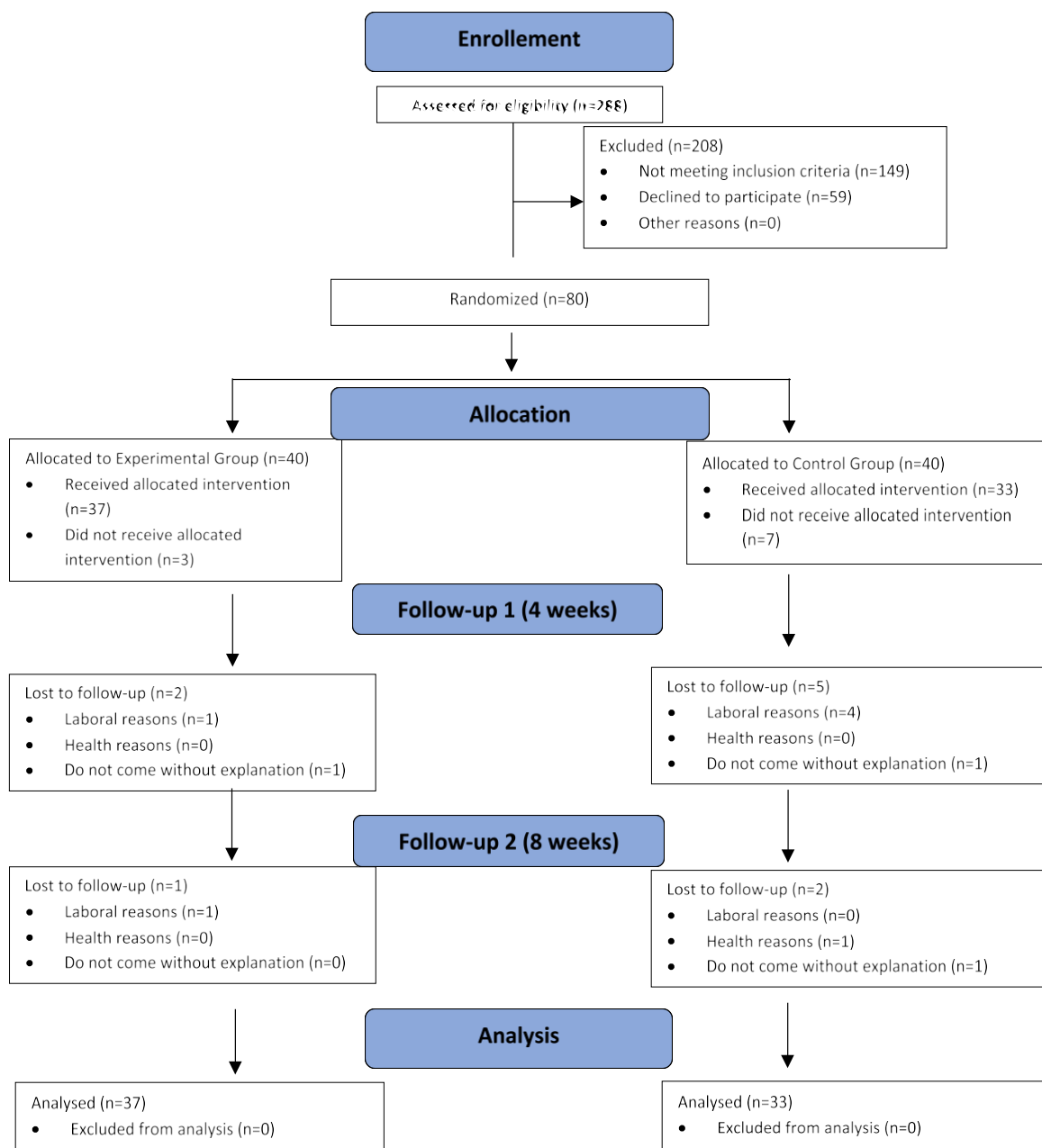


FIGURE 1 Flow diagram according to CONSORT.²⁸ [Color figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

consistent with Abdalbary et al.,¹⁴ and du Plessis et al.,²⁷ Inclusion criteria for participants were (A) having mild to moderate HAV deformity evaluated with MS;⁶ (B) 18-65 years; (C) painful HAV. If there were bilateral HAV, we included in the study the most symptomatic and/or the one comprised between mild to moderate.^{14,27} Exclusion criteria for participants included (A) surgeries in the lower limbs; (B) pathologic foot deformities not related to HAV; (C) to have been receiving physiotherapy treatment for HAV; (D) to suffer systemic diseases as deposit sickness or rheumatoid arthritis; (E) severe osteoarthritis; (F) to suffer any disease that affects the sensory-motor function of the foot different from the HAV; (G) to suffer any fracture or disease that was still affecting the foot; (H) patients with anti-inflammatory drugs where manual therapy was contraindicated.^{14,27}

After participant screening, those who accept to take part in the study were randomly assigned to the control (no treatment) or experimental (GPR) group. Participants in both groups were instructed for continuing with their habitual daily life activities. Participant demographic information can be found in Table 1.

2.4 | Intervention

Individuals allocated to CG received no intervention, and those assigned to EG received three sessions based on the GPR methodology. Figure 1 shows the flow diagram according to the Consort statement.¹²

Participants allocated to the intervention group received a treatment consisted of a GPR approach divided into 3 sessions and performed with a frequency of 1 session per week for 3 weeks. The sessions were performed individually, with an approximate duration of 40 min and all of them were assessed by the same physiotherapist. In the GPR methodology, there are several postures described for performing the treatment in which the subject has to actively participate.^{15,16} Each session was divided into 5 parts, according to the methodology, without rest, progressing in the posture.¹⁵ In this progression, postural demands increased during task execution with greater activation of intrinsic foot muscles.²⁹ A more detailed description can be found in Table 2 (Figure 2).

TABLE 1 Baseline characteristics

	Total (n = 70)	CG (n = 33)	EG (n = 37)	p value
Age	45.83 ± 11.93	43.52 ± 12.90	47.89 ± 10.76	.217
Gender				
Male	4 (5.71)	2 (50)	2 (50)	.906
Female	66 (94.29)	31 (47)	35 (53)	
Foot size (EU)	38.44 ± 1.66	38.15 ± 1.46	38.70 ± 1.79	.166
HAV foot				
Left	38 (54.29)	18 (47.40)	20 (52.60)	.967
Right	32 (45.71)	15 (46.90)	17 (53.10)	
Weight (Kg)	67.26 ± 11.07	66.87 ± 10.85	67.60 ± 11.40	.784
Height (cm)	1.61 ± 0.07	1.62 ± 0.06	1.61 ± 0.07	.494
BMI	25.82 ± 4.28	25.49 ± 4.27	26.10 ± 4.32	.553
XEO	0.55 ± 0.09	0.54 ± 0.08	0.57 ± 0.10	.199
XEC	0.60 ± 0.10	0.59 ± 0.10	0.60 ± 0.10	.199
YEO	0.36 ± 0.08	0.36 ± 0.09	0.35 ± 0.07	.813
YEC	0.43 ± 0.13	0.45 ± 0.16	0.41 ± 0.10	.188
VEO	14.50 ± 2.37	14.42 ± 2.47	14.57 ± 2.31	.782
VEC	14.87 ± 2.46	14.46 ± 2.51	15.24 ± 2.38	.183
WBLT	6.10 ± 2.49	6.53 ± 2.71	5.73 ± 2.25	.185
SEBT.ANT	62.54 ± 7.54	62.06 ± 7.76	62.96 ± 7.42	.620
SEBT.PM	60.96 ± 11.28	60.02 ± 11.59	61.79 ± 11.08	.515
SEBT.PL	59.33 ± 12.48	58.71 ± 12.55	59.89 ± 12.57	.695

Note: Quantitative variables are presented as the mean ± SD. XEO: mediolateral oscillations of the CoP in OE condition; XEC: mediolateral oscillations of the CoP in EC condition; YEO: anteroposterior oscillations of the CoP in EO condition; YEC: anteroposterior oscillations of the CoP in EC condition; VEO: displacement velocity of the CoP in EO condition; VEC: displacement velocity of the CoP in EC condition; WBLT: weight-bearing lunge test; SEBT.ANT: star excursion balance test anterior direction; SEBT.PM: star excursion balance test posteromedial direction; SEBT.PL: star excursion balance test posterolateral direction.

2.5 | Statistical analysis

Statistical analyses were performed with SPSS statistical software, V17.0 (SPSS, Inc.). Each variable of interest was calculated: mean values, SDs, and the number of cases. The student's *t* test was used for independent samples and the statistical Chi-square test for analyzing the differences between both groups. Demographic data and baseline results are showed in Table 1, with no statistical differences (Figure 3).

A mixed analysis of variance was employed for assessing differences between and within groups. Independent variables were CG and EG, so CG versus EG was the between-group factor, while the within-group factor was time measurement (4 and 8 weeks). Dependent variables were stabilometric measurements under both EO and EC conditions; SEBT measurements in different directions; and WBLT for ankle DFROM. Separate analyses for the dependent variables were performed for examining possible interactions between treatment and measurement time. A *p* value of <.05 was considered statistically significant. Intergroup effect sizes (ES) were calculated using Cohen's *d* and categorized as small (*d* = 0.2), medium

(*d* = 0.5), and large (*d* = 0.8) according to Cohen's benchmarks.³⁰ Table 3 shows the results of all outcome measures.

3 | RESULTS

The results showed no significant main effects in XEO, XEC, YEO, YEC, VEO, VEC, WBLT, SEBT.ANT, SEBT.PM and SEBT.PL on Time, Group, and Group by Time at 4 weeks.

However, results on XEO and XEC showed improvements at 8 weeks on EG with medium ES: *t*(36) = 2.892, *p* = .006, *d* = 0.67; and small ES: *t*(36) = 2.349, *p* = .024, *d* = 0.42, respectively. Comparison between groups on XEC showed improvements on EG after intervention with medium ES: *t*(68) = 2.280, *p* = .026, *d* = 0.54 (Table 3).

At 8 weeks, results in YEO and YEC showed no significant effects on Group and Group by Time interaction. Significant effects on Time were found in YEO variable, but not in YEC.

There were improvements in VEO and VEC on EG with small ES: *t*(36) = 2.178, *p* = .036, *d* = 0.38; and *t*(36) = 2.057, *p* = 0.047, *d* = 0.37,

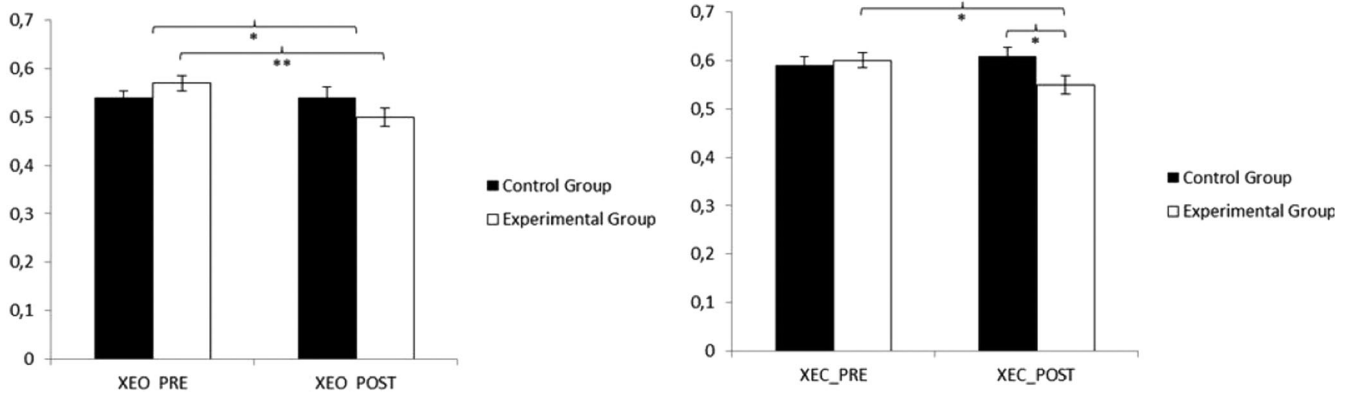


FIGURE 2 Between-group and within-group comparison of XEO and XEC scores. XEO: mediolateral displacements of the centre of pressure with eyes open; XEC: mediolateral displacements of the centre of pressure with eyes closed. **p* < .05; ***p* < .01

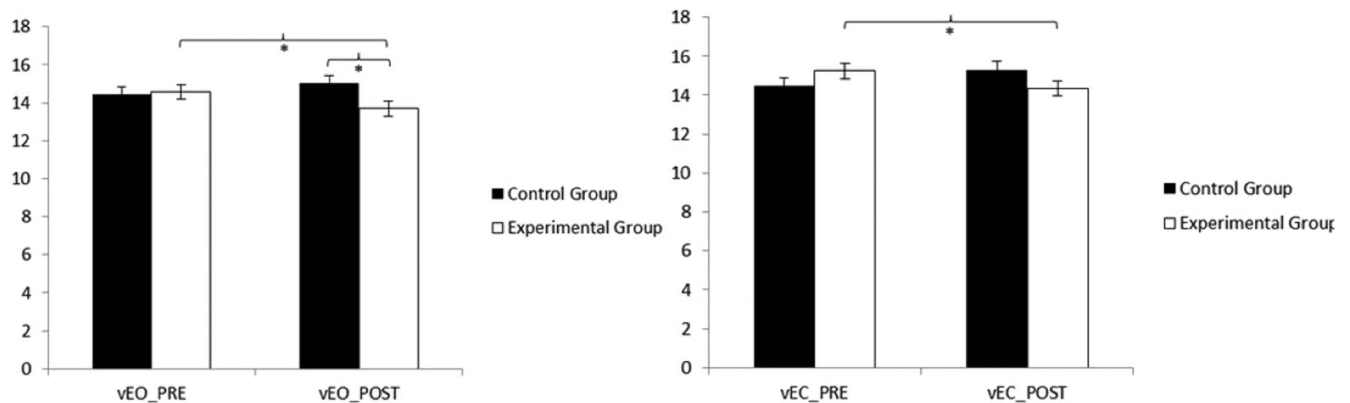


FIGURE 3 Between-group and within-group comparison of vEO and vEC scores. vEO: mean speed of displacement of the pressure center with open eyes; vEC: mean speed of displacement of the pressure center with eyes closed. **p* < .05

TABLE 2 Treatment description



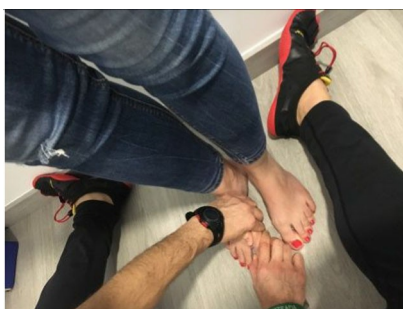
1. Supine position progressing to knee extension and neutral position of the coxofemoral joint, as the feet maintained a plantarflexion position (also known as “ground frog posture”). We performed this posture during 20', focusing on the manual alignment of the first ray and foot joints. At the same time, there were performed isometric contractions of the intrinsic and extrinsic musculature of the elected foot.



2. Supine position progressing to knee extension and coxofemoral joint flexion as the foot maintained a dorsiflexion position (also known as “airbone frog posture”). The original posture described for Souchard⁴⁹ is performed with both feet, but we modified it because the original technique does not provide additional benefits in this investigation. We performed this posture during 10', focusing on the manual alignment of the first ray and foot joints. At the same time, there were performed isometric contractions of the intrinsic and extrinsic musculature of the elected foot. We also asked for voluntary abduction of the first proximal phalanx.



3. Bipodal stance position with back support on the wall, asking for elevation of the medial longitudinal arch, isometric contraction of the intrinsic and extrinsic foot musculature and voluntary abduction of the first proximal phalanx. The physiotherapist performed a manual alignment of the first ray. We performed this posture during 2'30". This is a static task for integrate the results obtained after the contractions in supine position in the CNS.



4. Bipodal stance position without back support on the wall, asking for elevation of the medial longitudinal arch, isometric contraction of the intrinsic and extrinsic foot musculature and voluntary abduction of the first proximal phalanx. The physiotherapist performed a manual alignment of the first ray. We performed this posture during 2'30". This is a static task for integrate the results obtained after the contractions in supine position in the CNS.



5. Walk maintaining the alignment of the first ray, an elevated medial longitudinal arch and dorsiflexion of the first proximal metatarsophalangeal joint. We performed this task during 5'. This is a dynamic task for integrate the results obtained after the previous work in the CNS.

Abbreviation: CNS, central nervous system.

respectively. Comparison between groups in VEO showed improvements on EG with medium ES: $t(68) = 2.380$, $p = .020$, $d = 0.57$.

Results showed improvements in WBLT on EG after intervention at 8 weeks with medium ES: $t(36) = -2.869$, $p = .007$, $d = 0.54$.

There were improvements in SEBT.ANT and SEBT.PL at 8 weeks with small ES: $t(36) = -2.445$, $p = .019$, $d = 0.26$; and $t(36) = -3.581$, $p < .001$, $d = 0.39$, respectively. Table 3 shows outcome measures.

Results in SEBT.PM at 8 weeks showed improvements on EG with large ES: $t(36) = -11.275$, $p < .001$, $d = 1.04$.

4 | DISCUSSION

The obtained results showed that 8 weeks after 3 GPR sessions, participants from EG improved their static postural control in both EO and EC conditions, dynamic balance, and ankle DFROM. Nevertheless, there were no improvements after 4 weeks. A plausible explanation could be more time is needed for integration of the received stimulus by the central nervous system (CNS). The intervention for HAV consisted of a multimodal intervention including manual therapy and muscular contractions combined with tissue and joints mobilization following the GPR principles. Until recently, this is the first investigation addressing the effectiveness of manual therapy methods in DFROM, postural control, and dynamic balance in patients with HAV.

The sole is involved in CNS processes including postural control and balance due to the high density of cutaneous mechanoreceptors that influence proprioceptive and exteroceptive information of the body position and the support state.¹⁰ The function of mechanoreceptors could change due to biomechanical alterations in HAV conditions.^{7,8,10} This may lead to poor postural control⁸ decreased balance,¹⁰ lower physical activity,²⁸ risk of falls^{7,9,28} risk of injury,^{16,28} and limited mobility and ambulation.²⁸ Literature also supports that plantar, joint, and muscular receptors are involved in feedback and feedforward mechanisms and it is possible to induce changes in balance and ankle DFROM in people with CAI.^{24,25,31} The foot core

musculature is responsible for the stabilization and oscillations of the CoP¹¹ and, in presence of muscle weakness or decreased activation, postural control and dynamic balance could be negatively affected, which could be related to an increased risk of falls.^{9,29,32} Conservative methods that focus on improving dynamic balance, postural control, and ankle DFROM could decrease the risk of injuries.^{21,22,24,33}

4.1 | Manual therapy in HAV and postural control

Decreased postural control is related to several musculoskeletal conditions such as HAV,⁴ ankle sprains,³⁴ or ACL injuries.³⁵ In presence of HAV, mediolateral oscillations are affected and the risk of falls could be increased.^{4,8} Anteroposterior oscillations did not improve in our study, this finding may be explained taking into account that it has been reported that anteroposterior oscillations are not altered in presence of HAV.^{4,8} However, our results have shown that GPR treatment improves mediolateral parameters in bipodal stance and both EO and EC conditions with moderate and small ES ($d = 0.67$ and $d = 0.42$, respectively) after 8 weeks. These improvements in mediolateral oscillations could be present due to neurophysiological mechanisms underlying manual therapy, which stimulates cutaneous, joint, and muscular receptors, in addition to muscle activation, that has demonstrated improvements in postural control and dynamic balance.^{10,24,25,36–38} These positive outcomes could be related to a decrease in the risk of falls^{4,7–9} and injuries.^{34,35}

Akaras et al.,²⁰ did not find differences between non-taping conditions, athletic tape, and Mulligan tape for static postural control in anteroposterior oscillations, which agree with our results and previous literature.^{4,8} Other investigations found no improvements neither in mediolateral oscillations nor sway velocity in taping conditions for HAV,^{20,39} in contrast to our results, suggesting that GPR could be superior to taping intervention. A plausible explanation of these results could be the combination of active muscle activation of the patient and manual therapy application. Previous studies showed improvements in postural control of people with CAI when performed plantar massage,³³ which could be related to the

TABLE 3 Outcome measures

	4 Weeks			8 Weeks			Group			η^2
	CG (n = 33)			EG (n = 37)			F(1,68)	p value		
	Pre	Post (4 weeks)	Post (8 weeks)	Pre	Post (4 weeks)	Post (8 semanas)				
XEO	0.54 ± 0.08	0.55 ± 0.11	0.54 ± 0.12	0.57 ± 0.10	0.52 ± 0.12	0.50 ± 0.11	3.027	.086	0.043	
XEC	0.59 ± 0.10	0.61 ± 0.12	0.61 ± 0.10	0.60 ± 0.10	0.58 ± 0.96	0.55 ± 0.12	0.710	.402	0.010	
YEO	0.36 ± 0.09	0.38 ± 0.91	0.40 ± 0.09	0.35 ± 0.07	0.36 ± 0.11	0.38 ± 0.10	0.941	.335	0.014	
YEC	0.45 ± 0.16	0.45 ± 0.12	0.44 ± 0.10	0.41 ± 0.10	0.43 ± 0.14	0.43 ± 0.12	1.535	.220	0.022	
VEO	14.42 ± 2.47	13.74 ± 2.10	15.01 ± 2.33	14.57 ± 2.31	13.34 ± 2.21	13.68 ± 2.34	0.069	.794	0.001	
VEC	14.46 ± 2.51	15.06 ± 2.21	15.27 ± 2.66	15.24 ± 2.38	14.53 ± 2.12	14.36 ± 2.36	0.089	.767	0.001	
WBLT	6.53 ± 2.71	7.05 ± 2.70	6.48 ± 2.16	5.73 ± 2.25	6.28 ± 2.40	7.08 ± 2.71	2.270	.137	0.032	
SEBT.ANT	62.06 ± 7.76	62.90 ± 8.61	61.28 ± 9.65	62.96 ± 7.42	62.39 ± 6.30	64.89 ± 7.53	0.014	.908	0.001	
SEBT.PM	60.02 ± 11.59	60.90 ± 12.20	71.45 ± 14.79	61.79 ± 11.08	62.10 ± 12.03	76.47 ± 16.64	0.324	.571	0.005	
SEBT.PL	58.71 ± 12.55	60.79 ± 11.70	59.32 ± 12.29	59.89 ± 12.57	61.50 ± 12.40	64.59 ± 11.38	0.118	.732	0.002	

	4 Weeks			8 Weeks			Time	p value	η^2	G			
	Group by Time			Group							F(1,68)	p value	η^2
	F(1,68)	p value	η^2	F(1,68)	p value	η^2							
XEO	3.027	.086	0.043	0.042	.639	0.001	4.579	.036	0.063	4			
XEC	1.743	.191	0.025	1.746	.191	0.025	1.599	.210	0.023	4			
YEO	0.745	.391	0.011	0.269	.606	0.004	4.829	.031	0.066	0			
YEC	0.360	.550	0.005	1.441	.234	0.021	0.115	.735	0.002	0			
VEO	0.739	.393	0.011	1.565	.215	0.022	0.214	.645	0.003	5			
VEC	3.882	.053	0.054	7.849	.007	0.103	0.010	.922	0.001	0			
WBLT	0.002	.969	0.001	0.042	.838	0.001	4.043	.048	0.056	4			
SEBT.ANT	1.106	.297	0.016	0.535	.220	0.022	0.738	.393	0.011	4			
SEBT.PM	0.079	.779	0.001	1.132	.291	0.016	279.314	<.001	0.804	4			
SEBT.PL	0.049	.825	0.001	1.381	.244	0.020	7.237	.009	0.096	4			

Note: Quantitative variables are presented as the mean ± SD. XEO: mediolateral oscillations of the CoP in EO condition; XEC: mediolateral oscillations of the CoP in EC condition; YEC: anteroposterior oscillations of the CoP in EC condition; VEO: displacement velocity of the CoP in EO condition; VEC: displacement velocity of the CoP in EC condition; WBLT: weight-bearing lunge test; SEBT.ANT: star excursion balance test anterior direction; SEBT.PM: star excursion balance test posteromedial direction; SEBT.PL: star excursion balance test posterolateral. direction.

neurophysiological mechanisms underlying the stimulation of plantar cutaneous receptors.^{10,36} These findings agree with the results obtained in our study where GPR intervention combines plantar and joint receptor stimulation resulting in superior results due to this combination.^{10,36}

Concerning muscle activation role in postural control, Lynn et al.,³⁸ did not find differences between mediolateral oscillations in healthy individuals when performing training of intrinsic musculature of the foot. This is in contrast to the obtained results after GPR intervention and could be explained because during our intervention patients activate intrinsic and extrinsic muscles of the foot which has been deemed to play an important role in postural control.¹¹

4.2 | Manual therapy in HAV and dynamic balance

In presence of HAV, there are strength deficits that are related to balance impairments.^{4,11} The present study shows improvements in dynamic balance at the 3 directions of SEBT at 8 weeks. These positive results could be due to neurophysiological mechanisms underlying the manual stimulation of the plantar and joint receptors that were described before^{10,24,25,36} and the combination with muscle activation.^{37,38}

Literature reports that rigid tape improves dynamic balance in people with HAV deformity.^{20,39} There is also evidence that supports that plantar massage and joint mobilizations improve single limb dynamic balance in patients with CAI.^{22,31} Our findings in dynamic balance agree with the aforementioned results and it could be because both manual and taping interventions could enhance proprioceptive information of the cutaneous and joint receptors.^{10,20,31,39}

Previous investigators have also shown improvements in dynamic balance when training the intrinsic foot muscles in the healthy population,³⁸ individuals with excessively pronated feet³² and subjects with CAI,³⁷ which agree with the results of our study due to the isometric activations of the foot core.

4.3 | Manual therapy in HAV and ankle DFROM

Hurn et al.⁴ found that ankle DFROM was similar in people with and without HAV but they did not perform any intervention. However, when comparing their baseline data with ours, our participants show worse results in ankle DFROM. Our results show improvements in ankle DFROM with medium ES ($d = 0.54$) after 8 weeks and agree with those reported by Abdalbary,¹⁴ who investigated the effect of manual therapy combined with active exercises and toe separator. Furthermore, it has been shown that the anterior reach of SEBT could be negatively influenced by a decreased ankle DFROM,²⁶ and our results show improvements in both the anterior reach of SEBT and ankle DFROM. Positive results in our study could be related to the proprioceptive information given by the joint mechanical receptors and the CNS responses when performing mobilizations combined with muscle activations.^{10,14,31}

Ankle passive joint mobilizations for decreased ankle DFROM has been widely explored in patients with CAI as well as Mobilizations With Movement with positive findings^{22,31} These results agree with the obtained results after GPR intervention. The active component of GPR may play an important role in the integration of muscle activation and related subjective instability feeling due to ankle instability in patients with HAV.²²

5 | CONCLUSION

The obtained results suggest that GPR method is effective for improving mild to moderate HAV results in postural control parameters as mediolateral displacements and velocity of CoP displacement. It also improves dynamic balance in all three directions and ankle DFROM.

5.1 | Limitations and further investigation

The principal limitation of this study is the short and midterm evaluation. Future studies should examine the long-term results of the GPR treatment to determine the maintenance of the improvement over time. However, future studies should evaluate psychological, pain and quality of life. This pathology could affect patients self-concept and quality of life and should be addressed in a biopsicosocial model.⁴⁰

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to acknowledge all participants for their help in the study. This study was funded by the Spanish Association of Global Postural Reeducation, which is gratefully acknowledged.

ORCID

Yolanda Castellote-Caballero  <https://orcid.org/0000-0002-6233-6787>

David Cruz-Díaz  <https://orcid.org/0000-0001-5070-0679>

REFERENCES

1. Nix S, Smith M, Vicenzino B. Prevalence of hallux valgus in the general population: a systematic review and meta-analysis. *J Foot Ankle Res.* 2010;3(1):21.
2. Piggott H. The natural history of hallux valgus in adolescence and early adult life. *J Bone Joint Surg Br.* 1960;42(4):749-760.
3. Garrow AP, Papageorgiou A, Silman AJ, Thomas E, Jayson MI, Macfarlane GJ. The grading of hallux valgus: the Manchester Scale. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2001;91(2):74-78.
4. Hurn SE, Vicenzino B, Smith MD. Functional impairments characterizing mild, moderate, and severe hallux valgus. *Arthritis Care Res.* 2015;67(1):80-88.
5. Okuda H, Juman S, Ueda A, Miki T, Shima M. Factors related to prevalence of hallux valgus in female university students: a cross-sectional study. *J Epidemiol.* 2014;24(3):200-208.
6. Coughlin MJ. Juvenile hallux valgus: etiology and treatment. *Foot Ankle Int.* 1995;16(11):682-697.
7. Koller U, Willegger M, Windhager R, Wanivenhaus A, Trnka HJ, Schuh R. Plantar pressure characteristics in hallux valgus feet. *J Orthop Res.* 2014;32(12):1688-1693.

8. Çınar-Medeni Ö, Atalay Guzel N, Basar S. Mild hallux valgus angle affects single-limb postural stability in asymptomatic subjects. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2016;29(1):117-121.
9. Mickle KJ, Munro BJ, Lord SR, Menz HB, Steele JR. Gait, balance and plantar pressures in older people with toe deformities. *Gait Posture.* 2011;34(3):347-351.
10. Viseux FJ. The sensory role of the sole of the foot: review and update on clinical perspectives. *Neurophysiol Clin.* 2020;50(1):55-68.
11. McKeon PO, Hertel J, Bramble D, Davis I. The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function. *Br J Sports Med.* 2015;49(5):290.
12. Schulz KF, Altman DG, Moher D. CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMC Med.* 2010;8(1):18.
13. Tang SFT, Chen JT-N, Chen C-K, Tang AC-W. Effective conservative treatment for managing Painful Hallux valgus. *Med Res Arch.* 2016;4(6):84-85.
14. Abdalbary SA. Foot mobilization and exercise program combined with toe separator improves outcomes in women with moderate hallux valgus at 1-year follow-up. A randomized clinical trial. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2018;108(6):478-486.
15. Soucharad P. *Deformaciones morfológicas de la columna vertebral: Tratamiento fisioterapéutico en reeducación postural global RPG.* 1st ed., Spain: Elsevier España, 2016.
16. Lomas-Vega R, Garrido-Jaut MV, Rus A, del-Pino-Casado R. Effectiveness of global postural re-education for treatment of spinal disorders: A meta-analysis. *Am J Phys Med Rehabil.* 2017;96(2):124-130.
17. Teodori RM, Negri JR, Cruz MC, Marques AP. Reeducação postural global: uma revisão da literatura. *Braz J Phys Ther.* 2011;15(3):185-189.
18. Baydal-Bertomeu JM, Barberà i Guillem R, Soler-Gracia C, Peydro de Moya MF, Prat JM, Barona de Guzmán R. Determinación de los patrones de comportamiento postural en población sana española. *Acta Otorrinolaringol Esp.* 2004;55(6):260-269.
19. Bauer CM, Gröger I, Rupprecht R, Tibesku CO, Gassmann KG. Reliabilität der statischen Posturografie bei älteren Personen. *Z Gerontol Geriatr.* 2010;43(4):245-248.
20. Akaras E, Guzel NA, Kafa N, Özdemir YA. The acute effects of two different rigid taping methods in patients with hallux valgus deformity. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2019;33(1):91-98.
21. Gribble PA, Hertel J, Plisky P. Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review. *J Athl Train.* 2012;47(3):339-357.
22. Cruz-Díaz D, Lomas Vega R, Osuna-Pérez MC, Hita-Contreras F, Martínez-Amat A. Effects of joint mobilization on chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *Disabil Rehabil.* 2015;37(7):601-610.
23. Powden CJ, Hoch JM, Hoch MC. Reliability and minimal detectable change of the weight-bearing lunge test: a systematic review. *Man Ther.* 2015;20(4):524-532.
24. Wikstrom EA, McKeon PO. Predicting manual therapy treatment success in patients with chronic ankle instability: improving self-reported function. *J Athl Train.* 2017;52(4):325-331.
25. Wikstrom EA, McKeon PO. Predicting balance improvements following STARS treatments in chronic ankle instability participants. *J Sci Med Sport.* 2017;20(4):356-361.
26. Hoch MC, Staton GS, Medina McKeon JM, Mattacola CG, McKeon PO. Dorsiflexion and dynamic postural control deficits are present in those with chronic ankle instability. *J Sci Med Sport.* 2012;15(6):574-579.
27. Du Plessis M, Zipfel B, Brantingham JW, et al. Manual and manipulative therapy compared to night splint for symptomatic hallux abducto valgus: an exploratory randomised clinical trial. *Foot.* 2011;21(2):71-78.
28. Jansson S, Söderlund A. A new treatment programme to improve balance in elderly people—an evaluation of an individually tailored home-based exercise programme in five elderly women with a feeling of unsteadiness. *Disabil Rehabil.* 2004;26(24):1431-1443.
29. McKeon PO, Fourchet F. Freeing the foot: integrating the foot core system into rehabilitation for lower extremity injuries. *Clin Sports Med.* 2015;34(2):347-361.
30. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences.* 2nd Edition. Hillsdale, New Jersey: 12 Lawrence Erlbaum Associates Inc. 1988:13.
31. McKeon PO, Wikstrom EA. Sensory-targeted ankle rehabilitation strategies for chronic ankle instability. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(5):776-784.
32. Menz HB, Morris ME, Lord SR. Foot and ankle characteristics associated with impaired balance and functional ability in older people. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2005;60(12):1546-1552.
33. LeClaire JE, Wikstrom EA. Massage for postural control in individuals with chronic ankle instability. *Athletic Training and Sports Health Care.* 2012;4(5):213-219.
34. McGuine TA, Greene JJ, Best T, Levenson G. Balance as a predictor of ankle injuries in high school basketball players. *Clin J Sport Med.* 2000;10(4):239-244.
35. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med.* 2005;33(4):492-501.
36. Maurer C, Mergner T, Bolha B, Hlavacka F. Human balance control during cutaneous stimulation of the plantar soles. *Neurosci Lett.* 2001;302(1):45-48.
37. Lee D-R, Choi Y-E. Effects of a 6-week intrinsic foot muscle exercise program on the functions of intrinsic foot muscle and dynamic balance in patients with chronic ankle instability. *J Exerc Rehabil.* 2019;15(5):709-714.
38. Lynn SK, Padilla RA, Tsang KK. Differences in static-and dynamic-balance task performance after 4 weeks of intrinsic-foot-muscle training: the short-foot exercise versus the towel-curl exercise. *J Sport Rehabil.* 2012;21(4):327-333.
39. Gur G, Ozkal O, Dilek B, Aksoy S, Bek N, Yakut Y. Effects of corrective taping on balance and gait in patients with hallux valgus. *Foot Ankle Int.* 2017;38(5):532-540.
40. Hernández-Castillejo LE, Martínez Vizcaíno V, Garrido-Miguel M, Caverro-Redondo I, Pozuelo-Carrascosa DP, Álvarez-Bueno C. Effectiveness of hallux valgus surgery on patient quality of life: a systematic review and meta-analysis. *Acta Orthop.* 2020;91(4):450-456. <https://doi.org/10.1080/17453674.2020.1764193>. (Epub 2020 May 14. PMID: 32408787; PMCID: PMC8023907).

How to cite this article: Estepa-Gallego A, Ibañez-Vera AJ, Estudillo-Martínez MD, et al. Effects of global postural reeducation on postural control, dynamic balance, and ankle range of motion in patients with hallux abducto valgus. A randomized controlled trial. *J Orthop Res.* 2021;1-10. <https://doi.org/10.1002/jor.25156>

ARTÍCULO II

**SHORT-TERM EFFECTS OF BALANCE TRAINING WITH
STROBOSCOPIC VISION FOR PATIENTS WITH CHRONIC ANKLE
INSTABILITY: A SINGLE-BLINDED RANDOMIZED CONTROLLED
TRIAL**



Article

Short-Term Effects of Balance Training with Stroboscopic Vision for Patients with Chronic Ankle Instability: A Single-Blinded Randomized Controlled Trial

Kyung-Min Kim ^{1,2}, María D. Estudillo-Martínez ³ , Yolanda Castellote-Caballero ^{4,*}
Alejandro Estepa-Gallego ⁴ and David Cruz-Díaz ⁴

¹ Department of Kinesiology and Sport Sciences, University of Miami, Coral Gables, FL 33146, USA; kmk154@miami.edu

² Department of Sport Science, College of Sport Science, Sungkyunkwan University, Suwon-si 16419, Korea

³ Department of Statistics, Faculty of Experimental Sciences, University of Jaén, E-23071 Jaén, Spain; mdestudi@ujaen.es

⁴ Department of Health Sciences, Faculty of Health Sciences, University of Jaén, E-23071 Jaén, Spain; alejandroestepafisio@gmail.com (A.E.-G.); dcruz@ujaen.es (D.C.-D.)

* Correspondence: mycastel@ujaen.es; Tel.: +34-953-213-408

Abstract: Chronic Ankle Instability (CAI) is one of the most common musculoskeletal dysfunctions. Stroboscopic vision (SV) training has been deemed to enhance somatosensorial pathways in this population group; nevertheless, until recently no studies have addressed the additional effects of this treatment option to the traditional therapeutic approach. **Methods:** To evaluate the effectiveness of a partial visual deprivation training protocol in patients with CAI, a randomized controlled trial was carried out. Patients with CAI ($n = 73$) were randomized into either a balance training, SV training, or a control (no training) group. For participants assigned into training groups, they received 18 training sessions over 6 weeks. The primary outcome was dynamic balance as measured by the Star Excursion Balance Test assessed at baseline and after 6 weeks of intervention. Secondary outcome measures included ankle dorsiflexion range of motion, self-reported instability feeling, and ankle functional status. **Results:** Better scores in stroboscopic training and balance training groups in all outcome measures were observed in comparison with the control group with moderate to large effect sizes. Stroboscopic training was more effective than neuromuscular training in self-reported instability feeling (cohen's $d = 0.71$; $p = 0.042$) and anterior reach distance of the star excursion balance test (cohen's $d = 1.23$; $p = 0.001$). **Conclusions:** Preliminary findings from the effects of SV Stroboscopic training in patients with CAI, suggest that SV may be beneficial in CAI rehabilitation.

Keywords: chronic ankle instability; balance training; stroboscopic vision



Citation: Kim, K.-M.; Estudillo-Martínez, M.D.; Castellote-Caballero, Y.; Estepa-Gallego, A.; Cruz-Díaz, D. Short-Term Effects of Balance Training with Stroboscopic Vision for Patients with Chronic Ankle Instability: A Single-Blinded Randomized Controlled Trial. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 5364. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105364>

Academic Editor: Paul B. Tchounwou

Received: 15 April 2021

Accepted: 12 May 2021

Published: 18 May 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Ankle inversion sprain is one of the most common musculoskeletal injuries associated with sports practice [1,2]. The principal mechanism of injury consists of a sudden inversion movement in the ankle joint which can affect the ankle joint structures as well as the somatosensory system [3]. This may lead to residual symptoms after the first ankle sprain episode including recurrent episodes of giving way, chronic pain and swelling, subjective instability feeling and is associated with altered arthrokinematics, reduced ankle dorsiflexion range of motion (DFROM), and sensorimotor deficits which have been termed as chronic ankle instability (CAI) [4].

It has been reported that patients with CAI present altered postural control, muscle activation ratio, and impaired proprioception [5,6]. The management of postural control has been focused on the improvement of motor function by different strategies such as strength training, neuromuscular training, proprioceptive training, or a combination of all of these [7–9]. The reduction in somatosensory utilization in those with CAI due to

the altered input of the ankle joint and foot complex requires intervention for the sensory receptors' restoration [10,11].

Balance training is related to the improvement of postural control in those with CAI and has been deemed as an effective therapeutic approach for this population [7–9]. Taking into account the complex etiology of CAI, injury-related impairments interventions have been successfully applied to improve postural control, DFROM, or muscle strength [7–9]. However, it has been observed that focused intervention also provides improvements in other contributing factors of CAI beyond those that have been particularly addressed [12]. It suggested that a multimodal balance training including challenging tasks in multiple plains of space, displacements, and static and dynamic tasks during typical sports situations may play an important role in the prevention of ankle sprain relapse. Running while performing some tactical or sport-specific task that requires attention, sudden change of direction or landing are situations related to an increased risk of an ankle sprain [1,3]. Multimodal comprehensive training protocols have been deemed as an effective therapeutic option to manage those with CAI [13,14]; nevertheless, the increased reliance on the visual information in CAI patients is not modified after this intervention [15,16]. The use of visual information at the expense of ankle joint somatosensory input has been identified as contributing factors for giving way episodes and repeated ankle sprains in those with CAI [17]. Conventional CAI interventions [15,16], do not address the necessity of restoring the altered somatosensory deficits following an ankle sprain. Therefore, including a specific treatment option that focuses on this neurophysiologic dysfunction would be beneficial for these patients. Kim et al. [18] have reported the influence of stroboscopic vision (SV) to induce sensory reweighting of visual input in CAI patients. Stroboscopic vision consisted of the use of a special goggle whose glasses intermittently turn from transparent to opaque for 100 milliseconds and thus reduced the visual feedback. This kind of visual device has been previously employed for sporting purposes with positive results in baseball players [19], but until recently it has not been included in the rehabilitation process of patients with CAI. The implementation of this novel approach to CAI patients, may enhance the activity of the somatosensory pathways due to the limited visual information input, and contribute to the feedback–feedforward strategies' development after training and its application to daily living and sporting activities.

The present study aimed to determine if the use of SV training in conjunction with traditional balance training will provide additional results in CAI patients.

2. Materials and Methods

This study was a single-blinded randomized controlled trial with two intervention groups consisting of multimodal balance training (BT), multimodal balance training in addition to stroboscopic glasses (BTSV), and a control group (CG) who received no intervention. The study (NCT04210518) was approved by the Human Ethics Committee of the University of Jaén and conducted following the Declaration of Helsinki, good clinical practices, and applicable laws and regulations and meets the CONSORT guidelines standards [20]. Informed consent was obtained for all participants who accepted to be enrolled in the study.

2.1. Participants and Randomization

Participants were recruited by posting announcements in the University newspaper, webpage, and by word of mouth. Participation eligibility was consistent with recommendations made from the International Ankle Consortium [21], determined by pre-screening measures including (1) a previous episode of ankle sprain at least 6 months before the beginning of the study, (2) a score of 24 or less in the Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT) to confirm the current feeling of ankle joint instability, (3) no history of other musculoskeletal injuries in the lower limbs and, (4) mental and physical autonomy to participate in the intervention. Exclusion criteria for participants were (1) self-reported vestibular or balance-related dysfunction, (2) an acute ankle sprain within the last six weeks, (3) recent

surgery, (4) epilepsy or a history of seizures, (5) participants were excluded if they missed more than 3 sessions. If patients presented bilateral CAI, the worst limb was selected as the CAI limb. Patients who met the inclusion criteria and accepted to be enrolled in the study were informed about the study protocol and advised to maintain their usual daily activity. To register any possible adverse events during the intervention, a notebook was given to the subjects of each group and permanent contact was maintained.

A total of 78 participants were enrolled in the study, with 26 assigned to the BT, BTSV, and the CG. Five participants did not complete the study. Three participants missed more than three exercise sessions and two did not complete the study (Figure 1). The adherence rate in the intervention group was very high, with an overall 93.59% attendance. A total of 73 participants completed the study and were included for statistical analysis. Participant demographic information can be found in (Table 1).

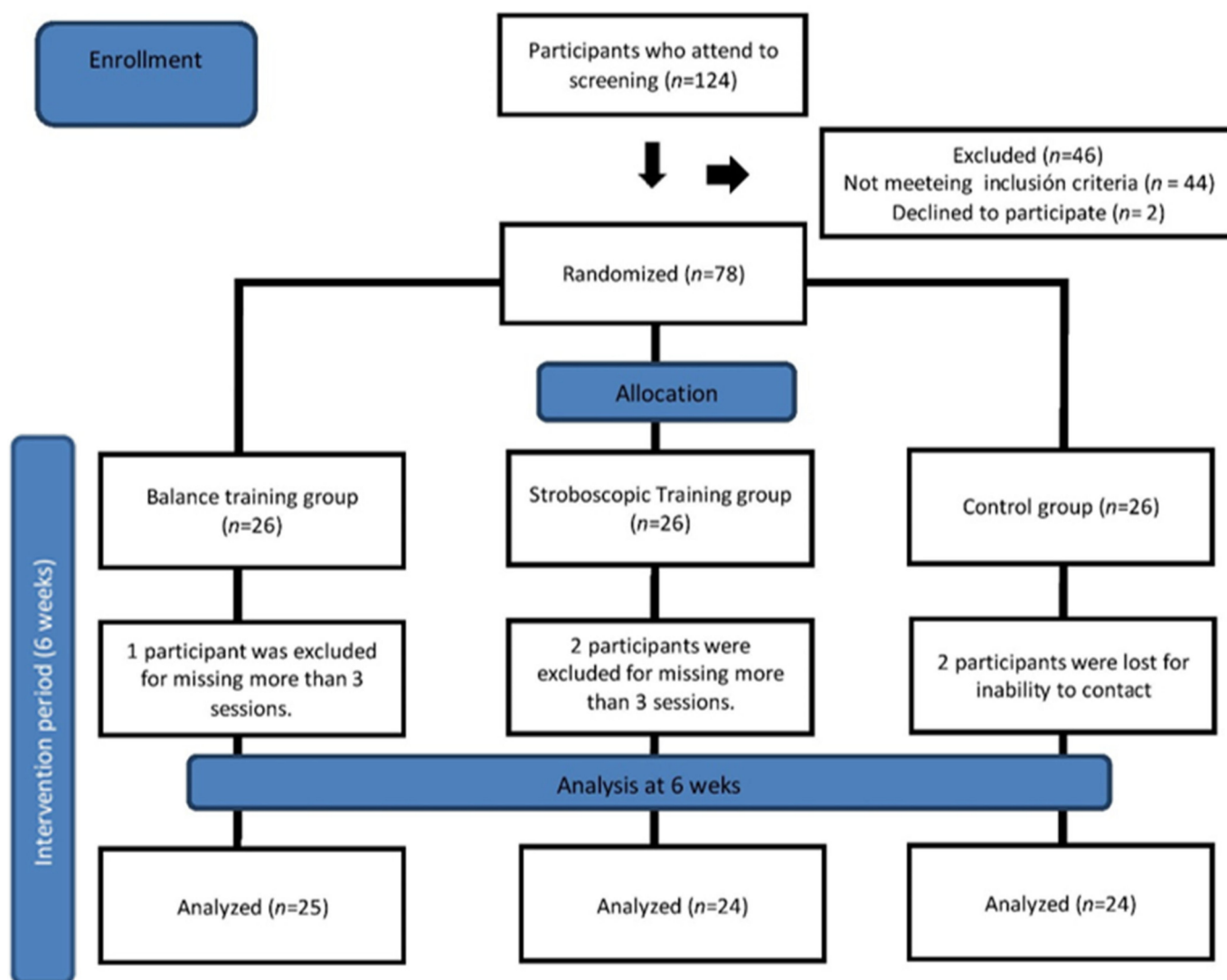


Figure 1. Flow chart of the study design and participants' follow up through the trial.

Table 1. Sociodemographic characteristics at baseline.

Characteristics		Balance Training (n = 25)	Stroboscopic Vision (n = 24)	Control (n = 24)	p-Value
Age (years)		29.76 ± 10.009	27.38 ± 7.383	29.67 ± 9.407	0.755
Height (cm)		167.48 ± 22.946	170.63 ± 8.791	170.50 ± 9.758	0.963
Mass (kg)		73.22 ± 21.122	71.94 ± 9.891	69.38 ± 9.188	0.374
Gender	Male	12/48%	17/70.83%	13/54.17%	0.249
	Female	13/52%	7/29.17%	11/45.83%	
Occupational status					0.724
	Full-Time worker	18/72%	16/66.6%	19/79.16%	
	Part-time worker unemployed	2/8% 5/20%	1/4.16% 7/29.16%	2/8.33% 3/12.5%	
Education					0.912
	Primary	4/16%	5/20.83%	4/16.6%	
	Secondary University	8/32% 13/52%	10/41.26% 9/37.5%	11/45.83% 9/37.5%	
Affected ankle	Left	12/48%	9/37.5%	11/45.83%	0.738
	Right	13/52%	15/62.5%	13/54.17%	
DFROM		8.348 ± 2.854	6.733 ± 2.886	8.821 ± 0.8876	0.317
SEBT-Ant		78.016 ± 3.519	77.337 ± 4.748	74.929 ± 2.8403	0.124
SEBT-PM		85.524 ± 4.350	83.238 ± 5.045	83.208 ± 4.4112	0.271
SEBT-PL		84.252 ± 4.823	81.871 ± 6.884	80.946 ± 4.7340	0.089
CAIT		15.28 ± 4.650	15.13 ± 4.803	15.29 ± 5.645	0.934
FAAM-ADL		79.60 ± 6.278	74.04 ± 8.175	72.50 ± 9.325	0.067
FAAM-Sport		69.60 ± 6.278	69.17 ± 6.197	67.29 ± 6.252	0.232

Ankle dorsiflexion range of motion (DFROM); Anterior reach distance of the star excursion balance test (SEBT-Ant); Posteromedial reach distance of the star excursion balance test (SEBT-PM); Posterolateral reach distance of the star excursion balance test (SEBT-PL); Cumberland ankle instability tool (CAIT); Functional ankle ability measure daily living subscale (FAAM-ADL); Functional ankle ability measure sport subscale (FAAM-Sport).

An independent assessor who was blinded to group assignment completed all patients' assessments at baseline and after the intervention.

A list of computer-generated numbers was employed to assign participants to the BT, BTSV, or CG. Participants were randomized to each group using sealed opaque envelopes that were controlled by an independent researcher who was not involved with the intervention in a 1:1:1 ratio before the beginning of the intervention.

2.2. Intervention

Intervention groups consisted of conventional balance training and conventional balance training in addition to SV.

2.3. Balance Training (BT)

This intervention consisted of a supervised multimodal exercise protocol addressing different aspects of balance including static and dynamic tasks on the injured ankle. The training program comprised 6 exercises that were progressively more difficult depending on the patient's execution controlled by an expert physiotherapist (Table 2). The exercises were performed in a circuit format of 20 min of duration and all participants completed 18 training sessions divided into 6 weeks. Included exercises have been included in previous research [12–14] with positive findings and can be classified based on:

Table 2. Intervention protocol and progression.

	Progression 1	Progression 2	Progression 3
Crossed arms, single-limb stance on the floor (60")	Crossed arms, single-limb stance on a mat (30")	Crossed arms, single-limb stance on a mat (60")	Crossed arms, single-limb stance on a dynair (30")
Throwing/catching a ball. single-limb on the floor (10 repetitions)	Throwing/catching a ball. Single-limb on a mat (10 repetitions)	Throwing/catching a ball. Single-limb on a dynair (10 repetitions)	Throwing/catching a ball. Single-limb on a bosu (10 repetitions)
Single leg deadlift with open arms (10 repetitions)	Single leg deadlift with hands at the hip (10 repetitions)	Single leg deadlift with a lightweight (10 repetitions)	Single leg deadlift reaching 3 points (10 repetitions)
Lateral hop to stabilization hands at the hip (10 repetitions)	Lateral hop to stabilization with hands at the hip (10 repetitions) (30 cm)	Lateral hop to stabilization with hands at the hip (10 repetitions) (45 cm)	Lateral hop to stabilization with hands at the hip (10 repetitions) (1 m)
Back and forward hop to stabilization with hands at the hip (10 repetitions)	Back and forward hop to stabilization with hands at the hip (10 repetitions) (30 cm)	Back and forward hop to stabilization with hands at the hip (10 repetitions) (45 cm)	Back and forward hop to stabilization with hands at the hip (10 repetitions) (1 m)
Randomized hop to stabilization in 4 directions (10 repetitions)	Increasing the speed during the performance (physiotherapist randomly indicates the direction).		
Circuit was repeated two times with 30" of rest between exercises and 2' of rest between each circuit.			

Single-limb stance. During these exercises, participants should maintain balance supported by the affected ankle. Progression consisted of the modification of the support surface (floor, mat, and dynair) and time (30" or 60").

Throwing and catching task. During this station, patients should combine a single-limb stance on the affected ankle with throwing and catching drills. The difficulty of these exercises consisted of the modification of the support surface making it more unstable (floor, mat, dynair, and bosu). The objective of this exercise was to avoid attentional focus on ankle stability simulating sports activities that require attention to an external stimulus.

Single-leg deadlift. This exercise was included to enhance the coordination and strength of the lower limb. Progression consisted of limiting the use of the arms to maintain balance, adding some weight during the execution, and finally reaching three points placed in front of the patient in a more dynamic task.

Single-limb hops to stabilization. Instability and residual symptoms after landing from a hop, as well as lateral displacements, have been reported in those with CAI. Previous research has addressed this CAI contributing factor with similar interventions based on the multidirectional jump protocol [12–14]. Progression consisted of an increase in the jump distance.

The balance training protocol was performed in an indoor sports facility with no shoes and in a small group.

2.4. Balance Training and Stroboscopic Vision (BTSV)

Patients included in this group performed the same protocol described in the balance training group with the addition of the SV glasses (USD 299, Senaptec LLC, Beaverton, OR, USA) during the intervention. Participants wear SV glasses all time alternating between opaque and transparent phase with a total transparent mode during rest. Visual difficulty progression ranged from 1 to 8 levels and was individually determined and adjusted by the correct exercise execution during the 18 training sessions. The opaque/transparent

ratio can be easily controlled by the lateral buttons placed on the glasses. Participants were advised to participate in the training session with their usual glasses or contact lenses. The training session was stopped if dizziness or any adverse event was observed during the exercise performance.

2.5. Control Group

Participants in the control group received no intervention.

2.6. Outcome Measures

2.6.1. Primary Outcome Measures

Ankle dorsiflexion range of motion: DFROM was assessed by the weight-bearing lunge test (WBLT) which has been shown to have high inter-rater ($r = 0.99$) and interrater ($r = 0.98$) reliability [22]. Furthermore, it has been applied to patients with CAI, where it has proven a correlation with dynamic postural control measures [23].

Dynamic balance: Dynamic balance was measured by a simplified version of the Star Excursion Balance Test (SEBT) where the anterior, posteromedial, and posterolateral reach directions were assessed and have been reported to determine dynamic postural control [20,21]. SEBT has been deemed to be a reliable and valid test to detect reach deficits both between subjects and within sides of subjects with unilateral ankle instability [24–26].

2.6.2. Secondary Outcome Measures

Self-reported instability and function: To determine the severity of ankle instability the Cumberland ankle instability tool (CAIT) was used [27]. The CAIT has been reported to be a valid tool with discriminative properties to identify patients with CAI and scores ≤ 25 are considered as unstable ankles [28,29].

Functional status: Function in daily living and sports activities were assessed by the Foot and Ankle Ability Measure (FAAM). The FAAM is a two-dimension (sport and daily life activities) non-specific disease questionnaire that has been reported to detect self-reported functional deficits in CAI patients [30,31].

2.7. Statistical Analyses

The Chi-Square test was applied to detect significant differences in the case of categorical variables. In the rest of the variables, to detect significant differences among the three groups, the appropriate technique is the Analysis of variance (ANOVA). For the conclusions to be valid in this technique, it is necessary to verify a series of assumptions. The residuals of the model have to fulfill the following hypotheses: normality, randomness, independence, and homoscedasticity.

The Shapiro–Wilk test was used to test the normality hypothesis and the Levene test was used to test the homoscedasticity hypothesis. In those cases, in which one of the two hypotheses is not verified, the ANOVA technique cannot be applied, since the results would not be reliable. In these cases, the ANOVA technique was replaced by the Kruskal–Wallis test. In cases that verify these two hypotheses, the ANOVA technique was applied. On the other hand, when ANOVA or the Kruskal–Wallis test is significant (p -value < 0.05) it indicates that there are significant differences between at least a couple of groups. To determine exactly between which groups there are significant differences, we completed the study with the methods of multiple comparisons or post hoc comparisons. We used two post hoc techniques: in cases where the homoscedasticity hypothesis was verified, HDS Tukey test was applied. In cases where it was not verified, the Games–Howell test was applied (because this technique is more suitable when the homoscedasticity hypothesis is not verified). Furthermore, to carry out the study WITHIN-GROUP CHANGE SCORES, confidence intervals were calculated for the difference in means for paired or dependent samples, hypothesis tests for two dependent or paired samples and Cohen’s D.

Alpha level was set a prior at $p < 0.05$. Statistical analysis was performed using the SPSS software, version 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). The α level was set at $p < 0.05$ for all tests.

A required number of 21 participants with CAI per group was estimated to ensure a power of 0.80 at a significance level of 95% based on a minimal detectable change of 4.28 cm in the posterolateral direction of SEBT [9], but 26 participants per group were enrolled in the study due to a possible drop-out rate of 20%.

3. Results

In the baseline analysis the mean and the standard deviation (continuous variables) and the absolute and relative frequency (categorical variables) are shown for each variable, for each group, and the total number of individuals. Both groups were similar at baseline for all dependent and sociodemographic variables (Tables 1 and 3).

In both BT group and group BTSV, there are significant differences in the mean of all variables comparing the values at the beginning and end of the study, so that the value of the mean end of the study is greater than at the beginning in all the variables. In contrast, in group 3 (control), there are no significant differences between the means at the beginning and end of the study (Table 3). On the other hand, in this same table, in all the variables there are significant differences in the BT and BTSV groups with the CG, in such a way that the means of these variables in those groups are greater than in the CG. Regarding the obtained results in the variables SEBT-Ant and CAIT, there are also significant differences between BT and BTSV, with $\mu_1 < \mu_2$ (Figures 2 and 3).

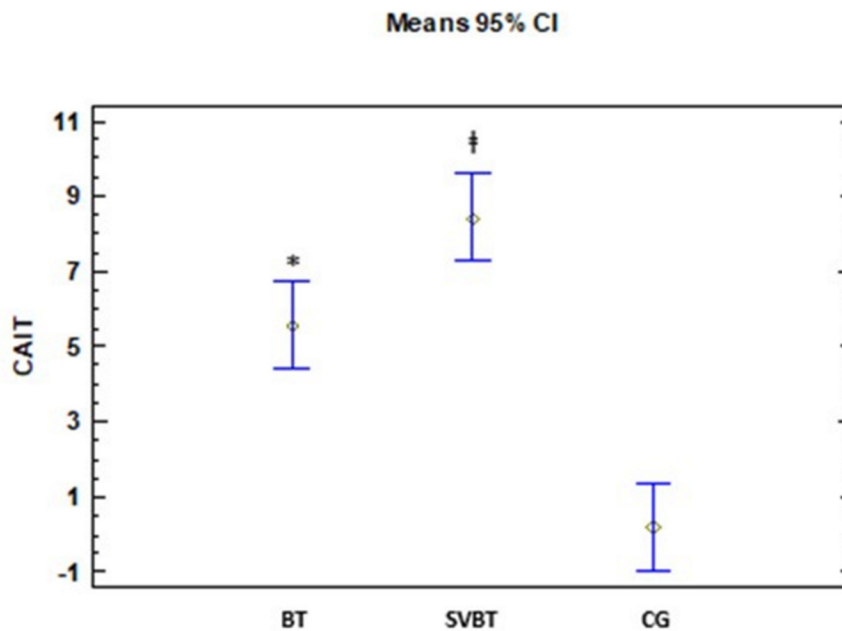


Figure 2. CAIT change scores after the intervention. Cumberland ankle instability tool (CAIT). ‡ (SVBT > BT); * (BT > CG).

Table 3. Within-group and between-group change scores.

Variable	Within-Group Change Scores					Between-Group Differences in Change Scores		
	Baseline Mean ± SD	End of Treatment Mean ± SD	Mean (95% CI)	p-Value	d-Cohen	Mean (95% CI)	p-Value	d-Cohen
DFROM								
Games-Howell		Kruskal-Wallis → <i>p</i> = 0.000						
BT	8.348 ± 2.854	10.016 ± 2.637	−1.6680 (−2.1876, −1.1484)	0.000	0.607	BT-BTSV: −0.302 (−1.3995, 0.793)	0.781	BT-BTSV: 0.192
BTSV	6.733 ± 2.886	8.704 ± 2.927	−1.9708 (−2.7444, −1.1973)	0.000	0.678	BT-CG: 1.681 (1.046, 2.314)	0.000	BT-CG: 1.869
CG	8.821 ± 0.887	8.808 ± 0.876	0.0125 (−0.0625, 0.0875)	0.734	0.014	BTSV-CG: 1.983 (1.043, 2.923)	0.000	BTSV-CG: 1.523
SEBT-Ant								
Games-Howell		Kruskal-Wallis → <i>p</i> = 0.000						
BT	78.016 ± 3.519	85.668 ± 3.481	−7.6520 (−8.0262, −7.2778)	0.000	2.185	BT-BTSV: −3.039 (−4.801, −1.278)	0.001	BT-BTSV: 1.235
BTSV	77.337 ± 4.748	88.029 ± 3.979	−10.6917 (−12.1100, −9.2734)	0.000	2.440	BT-CG: 7.335 (6.683, 7.987)	0.000	BT-CG: 7.787
CG	74.929 ± 2.840	75.246 ± 2.822	−0.3167 (−0.7288, 0.0955)	0.126	0.112	BTSV-CG: 10.375 (8.604, 12.145)	0.000	BTSV-CG: 4.194
SEBT-PM								
Games-Howell		Kruskal-Wallis → <i>p</i> = 0.000						
BT	85.524 ± 4.350	92.228 ± 3.570	−6.7040 (−8.0703, −5.3377)	0.000	1.684	BT-BTSV: −2.533 (−6.245, 1.178)	0.230	BT-BTSV: 0.481
BTSV	83.238 ± 5.045	92.475 ± 4.965	−9.2375 (−12.0535, −6.4215)	0.000	1.845	BT-CG: 6.199 (3.738, 8.661)	0.000	BT-CG: 1.746
CG	83.208 ± 4.411	83.713 ± 6.131	−0.5042 (−2.0985, 1.0901)	0.519	0.094	BTSV-CG: 8.733 (4.911, 12.555)	0.000	BTSV-CG: 1.611
SEBT-PL								
Games-Howell		Kruskal-Wallis → <i>p</i> = 0.000						
BT	84.252 ± 4.823	90.708 ± 4.460	−6.4560 (−8.4358, −4.4762)	0.000	1.389	BT-BTSV: −1.960 (−5.708, 1.787)	0.420	BT-BTSV: 0.363
BTSV	81.871 ± 6.884	90.288 ± 2.958	−8.4167 (−10.9235, −5.9099)	0.000	1.588	BT-CG: 5.514 (2.886, 8.142)	0.000	BT-CG: 1.457
CG	80.946 ± 4.734	81.888 ± 4.238	−0.9417 (−1.9420, 0.0587)	0.064	0.209	BTSV-CG: 7.475 (4.259, 10.690)	0.000	BTSV-CG: 1.653
CAIT								
Games-Howell		Kruskal-Wallis → <i>p</i> = 0.000						
BT	15.282 ± 4.650	20.840 ± 4.696	−5.560 (−6.898, −4.222)	0.000	1.189	BT-BTSV: −2.856 (−5.629, −0.084)	0.042	BT-BTSV: 0.718
BTSV	15.137 ± 4.803	23.541 ± 2.843	−8.417 (−10.357, −6.476)	0.000	2.130	BT-CG: 5.351 (3.557, 7.146)	0.000	BT-CG: 2.069
CG	15.290 ± 5.645	15.503 ± 4.987	−0.208 (−0.923, 0.507)	0.553	0.039	BTSV-CG: 8.208 (5.739, 10.676)	0.000	BTSV-CG: 2.370
FAAM-ADL								
Games-Howell		Kruskal-Wallis → <i>p</i> = 0.000						
BT	79.602 ± 6.278	86.800 ± 8.021	−7.200 (−9.935, −4.465)	0.000	0.999	BT-BTSV: −4.383 (−9.826, 1.059)	0.136	BT-BTSV: 0.560
BTSV	74.044 ± 8.175	85.630 ± 5.578	−11.583 (−15.323, −7.844)	0.000	1.656	BT-CG: 6.783 (3.087, 10.479)	0.000	BT-CG: 1.273
CG	72.500 ± 9.325	72.920 ± 9.315	−0.417 (−1.931, 1.098)	0.575	0.045	BTSV-CG: 11.166 (6.361, 15.971)	0.000	BTSV-CG: 1.652
FAAM-sport								
Games-Howell		Kruskal-Wallis → <i>p</i> = 0.000						
BT	69.602 ± 6.278	86.000 ± 6.124	−16.400 (−18.508, −14.292)	0.000	2.644	BT-BTSV: −1.5166 (−6.468, 3.434)	0.737	BT-BTSV: 0.214
BTSV	69.174 ± 6.197	87.080 ± 7.506	−17.917 (−21.543, −14.291)	0.000	2.602	BT-CG: 15.983 (12.933, 19.033)	0.000	BT-CG: 3.622
CG	67.290 ± 6.252	67.710 ± 6.252	−0.417 (−1.931, 1.098)	0.575	0.067	BTSV-CG: 17.500 (12.823, 22.176)	0.000	BTSV-CG: 2.659

Balance training group (BT); Stroboscopic vision training group (BTSV); Control group (CG); Ankle dorsiflexion range of motion DFROM; Anterior reach distance of the star excursion balance test (SEBT-Ant); Posteromedial reach distance of the star excursion balance test (SEBT-PM); Posterolateral reach distance of the star excursion balance test (SEBT-PL); Cumberland ankle instability tool (CAIT); Functional ankle ability measure daily living subscale (FAAM-ADL); Functional ankle ability measure sport subscale (FAAM-Sport).

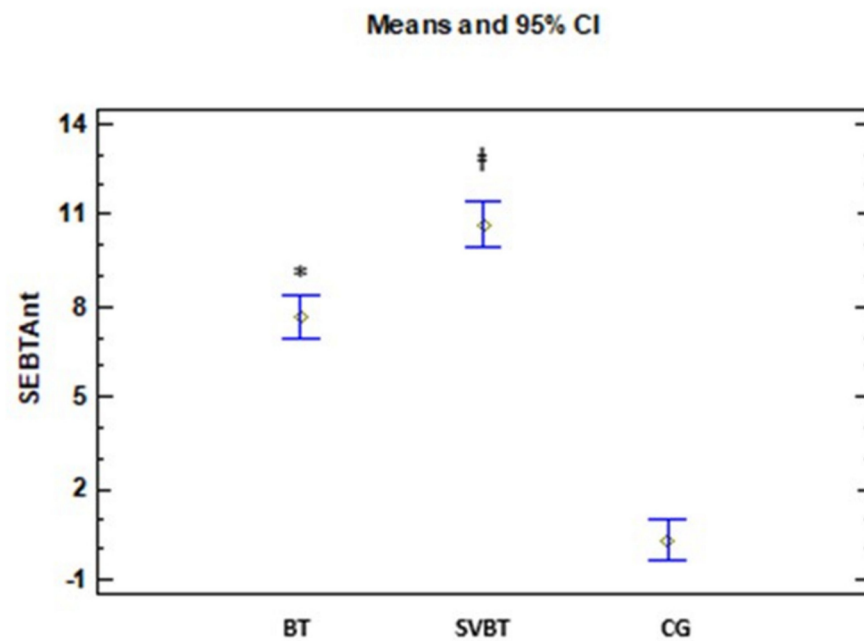


Figure 3. Anterior SEBT change scores after the intervention. Anterior reach distance of the star excursion balance test (SVBT any). ‡ (SVBT > BT) * (BT > CG).

4. Discussion

The present study provides preliminary evidence, based on the PEDro score [32] of 8 out of 10 possible points, that incorporating stroboscopic vision (SV) into balance training (BTSV) was found to be more effective than balance training (BT) alone in patients with CAI, in the short term of this 6-week trial.

Both training groups showed significant improvements in all outcomes (i.e., CAIT, FAAM, SEBT, and DFROM) when compared with the CG not receiving any intervention. These training effects were found to be very large for all outcomes ($d = 1.52$ to 7.79). More importantly, there were further improvements in the BTSV compared with the BT: a large effect for SEBT-Ant. ($d = 1.2$, 95% CI = -4.8 to -1.27) and a close to large effect for CAIT ($d = 0.72$, 95% CI = -5.62 to 0.08) with their associated 95% CIs not crossing zero. These additional improvements with the addition of SV to BT are unique and may assist clinicians in improving their current rehabilitation strategies for CAI patients.

4.1. Patient-Reported Outcomes

The most important finding of the current study was the additional improvement in the CAIT score following BTSV. CAIT is an instrument that provides a cut-off score (i.e., <25 pts) to confirm self-reported ankle instability, and its score is often used to determine a level of perceived ankle instability, with a lower score indicating worse instability [27,33]. For these reasons, assessment of the severity of perceived instability with CAIT has been increasingly used in rehabilitation for CAI [7,9,29]. Previous research has shown that balance training consistently produces large effects on CAIT scores in CAI patients: Cruz-Diaz et al. [9], ($d = 2.12$, 95% CI = 1.54 – 2.71), Kim and Heo [33] ($d = 1.22$, 95% CI = 0.27 – 2.18), Wright et al. [7] ($d = 1.17$, 95% CI = 0.50 – 1.84). We also confirmed the large (pre-post change) effect ($d = 1.19$) found in the group receiving BT alone. Moreover, the large improvement may be a clinically meaningful change as the size of improvement (5.56 pts) exceeds its established Minimum Clinically Important Difference (MCID) value (3 pts) [34]. Nonetheless, balance training alone may not be sufficient as the addition of SV to BT further decreased perceived ankle instability, as indicated by the moderate difference ($d = 0.72$) between the BT and BTSV in pre-post change scores. This finding is unique because visual perturbation during balance training by imitating visual input by half with

SV may further tune the postural control system and make participants with CAI feel less ankle instability. Despite the promising effect of SV on perceived ankle instability, further research is warranted to determine whether this perceptual effect is related to a decrease in the number of episodes of the ankle giving way or subsequent ankle injuries.

In contrast to additional improvement in the CAIT score following BTSV, we did not observe any significant differences between the training groups for perceived ankle function, as quantified by FAAM scores. However, both training groups significantly increased their FAAM-Sport scores (BT pre-post change: 16.4 pts, BTSV pre-post change: 17.9 pts) and the training effects were large (BT: $d = 2.64$, BTSV: $d = 2.60$) and greater than its established MCID value (9 pts) [35]. Similarly, both training groups produced significant large effects on the FAAM-ADL score, but the improvement following BT alone was not greater than its MCID value (8 pts) while BTSV induced a training effect greater than the MCID [7]. These results indicate that BT alone is adequate in making clinical meaningful changes in perceived ankle function during sporting activities, but it may not be for activities of daily living, which may benefit from additional therapy like SV. We found additional moderate improvement ($d = 0.56$) in the FAAM-ADL score in the BTSV compared with BT, but the group difference was not conclusive because its 95% CI (− 9.82 to 1.05) crossed zero.

4.2. Dynamic Balance

We found both training groups had large effects on reach distances of SEBT in all directions. These improvements appear to be consistent with previous BT studies [7,36–39]. Interestingly, the current study found that the incorporation of SV into BT induced an additional large effect ($d = 1.2$, 95% CI =−4.8, 1.27) on the anterior reach distance compared with BT alone. In contrast, we did not find significant SV effects in other directions.

4.3. Dorsiflexion Range of Motion

Dorsiflexion range of motion (DFROM), assessed by the weight-bearing lunge test, was not significantly different between the BTSV and BT groups: the addition of SV to BT did not induce any additional improvement. However, we found large improvements in both training groups compared with the CG (BT: $d = 1.87$, BTSV: $d = 1.52$). This mechanical benefit associated with BT may be attributed to dynamic postural control components of BT (i.e., reaching and hopping) in these studies. Previous research established a link between DFROM and dynamic balance in CAI patients [23,40,41]. It is plausible that progressive dynamic activities during BT in the current study required increased ankle movements and resulted in DFROM improvement. From this perspective, BT is versatile for improving DFROM while addressing other sensorimotor (or patient-reported) deficits [42–44]. Nonetheless, a more direct mechanical intervention such as joint mobilization cannot be ruled out when considering an intervention for DFROM deficits in CAI patients. A recent meta-analysis [45] produced grade A evidence that ankle joint mobilizations are effective in improving DFROM and recommended Maitland mobilization or Mulligan mobilization with movement that targets the posterior glide of the talus and manipulations of the talocrural joint. Thus, clinicians more concerned with DFROM deficits in CAI patients should consider this recommendation.

4.4. Potential Neurophysiological Mechanisms

As the current study was to determine the efficacy of BTSV for CAI patients, it does not provide data regarding the underlying neurophysiological mechanism responsible for additional improvements found in the BTSV. However, previous research suggests that improvements in physical performance following exercise training with SV may be due to increased utilization of sensory input other than the visual one and/or improved efficiency of visual–motor processing [46,47]. From these two mechanistic perspectives, the additional training effects with SV found in the current study may be explained. First,

participants during BT with limited visual input (SV) were forced to utilize more sensory feedback from other sources such as the somatosensory system. This inter-modality sensory reweighting from the visual to somatosensory systems may be required for participants to accommodate postural demand arising from balance exercises, which would increase the somatosensory load and induce greater training effects [18,40]. Previous studies [48–51] reported similar findings that exercise training with SV induces additional perceptual and physical improvements including balance. However, none of the studies have directly addressed this potential mechanism. Another potential mechanism may be improved visual-motor processing [48]. Some of our balance exercises were performed with catching/throwing a ball or reaching. These additional activities require visual resources, and participants performing these balance exercises under SV would have to utilize limited visual input more efficiently, which improves temporal integration of sensory information and induces greater motor improvements [48]. However, specific mechanisms remain unclear while various visual-motor skill improvements are often found to relate to better physical performance. In particular, the latest study [51] examined a possible sensory mechanism with electroencephalography in top-level badminton players, with two groups: SV training and control groups, both of which underwent a 4-week badminton training. The SV training group showed better performance (i.e., smash-defense tests), but the group difference in visual processing speed (i.e., N2 latency) did not reach significance although higher performance gains following training were associated with faster visual processing. Authors attributed this insignificant result to their small sample size ($n = 10$), training-induced neurophysiologic adaptations that may occur in motor systems, and/or improved attentional resources [51]. The importance of visual input on postural control has been addressed by previous studies [52] and might be considered during the therapeutic approach of the studied population group.

4.5. Clinical Implications

The current study provides evidence that the use of SV may be beneficial in CAI rehabilitation, particularly in a functional stage of rehabilitation when a CAI patient is preparing to return to play or work. Therapeutic exercises are often prescribed in these patients in a controlled environment, where the primary attention is on the success of exercise performance (control of body mechanics). Exercises are beneficial in an early stage of rehabilitation (i.e., prevention of muscle atrophy, recovery of neuromuscular control and muscle function), but in a later (functional) stage of rehabilitation, they may not be challenging enough to represent various demands placed on patients during daily activities of living and sports [53]. These activities often require multiple tasks, beyond the simple task (i.e., exercise performance in a rehabilitation setting), which makes the primary attentional resources shift from sensorimotor control of exercise to other higher-level tasks (i.e., going across the street, playing with others, etc.). SV may provide a more challenging environment where participants have to efficiently utilize limited visual input to perform their assigned rehabilitation exercises, which could further improve their sensorimotor control, including postural control.

In addition, improvements following therapeutic exercise are often task-specific: improvement is obtained in a task that has been practiced [54,55]. For this reason, SV may be even more beneficial for athletic patients because it can be applied to their regular sport-specific training to promote the full recovery of sports performance. Furthermore, SV may enhance patient compliance with sports rehabilitation. Athletic patients often feel bored when performing a therapeutic exercise, resulting in a low compliance rate [56]. However, athletes who underwent SV training reported that training with SV was enjoyable and highly motivating, and it is suggested that training with SV can be implemented with minimal guidance such as a home exercise program [49]. Similar to other therapeutic agents, however, SV has contradictions such as epilepsy or a history of seizures [46]. Sports medicine practitioners should be aware of these conditions when considering incorporating SV into their exercise training/rehabilitation.

4.6. Study Limitations and Recommendations for Future Research

While the current study shows promising results for use of SV in CAI patients, we acknowledge that placebo effects may happen in the BTSV group. It has been the greatest challenge in the SV training literature in that it may be impossible to blind either participants or therapists to the visual experience [46]. One would argue that a placebo condition can be made with constant SV (the frequency of visual blocks is fixed at the easiest setting) as opposed to the active training condition with variable SV (the frequency varies). While this idea sounds very appealing, a recent study [49] examined these two SV conditions and reported no differences in visual and physical function. Some authors suggest that the mere interruption of visual input, regardless of whether it is constant or variable, is strong enough to induce expected effects [57].

The study findings are limited to 6-week trial effects. It is unknown whether the SV training effects found in the current study may last or disappear in the long term (i.e., 6 months) and how some factors such as age, gender, or limb dominance could influence the studied variables. Further studies assessing long-term effects and the application on different injuries may demonstrate the efficacy of SV training. Identifying dominant vs. non-dominant at baseline could be beneficial to determine the difference in the effectiveness of the intervention over time.

5. Conclusions

The current study provides preliminary and short-term findings to demonstrate that CAI patients may benefit from a visually challenging rehabilitation environment, created by SV (rapid and repetitive visual interruption). Incorporating SV into BT showed some improvements (large effects) in CAI patients regarding perceived ankle instability and dynamic postural control (i.e., anterior reach during SEBT) relative to BT alone while both (BTSV and BT alone) interventions produced large therapeutic effects in all outcomes (i.e., CAIT, FAAM, SEBT, and DFROM).

Author Contributions: Conceptualization, K.-M.K. and D.C.-D.; methodology, K.-M.K. and D.C.-D.; software, K.-M.K. and M.D.E.-M.; validation,; formal analysis, K.-M.K. and M.D.E.-M.; investigation, resources, data curation, writing—original draft preparation, K.-M.K. and D.C.-D.; writing—review and editing, D.C.-D.; visualization, A.E.-G. and Y.C.-C.; supervision, K.-M.K. and D.C.-D.; project administration, D.C.-D.; funding acquisition, Y.C.-C. and D.C.-D. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board (or Ethics Committee) of UNIVERSITY OF JAÉN (protocol code 08/19).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: Authors would like to thanks to all participants in the study, and Miguel Madera and Ossfitness for their cooperation.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Fong, D.T.-P.; Hong, Y.; Chan, L.-K.; Yung, P.S.-H.; Chan, K.-M. A Systematic Review on Ankle Injury and Ankle Sprain in Sports. *Sports Med.* **2007**, *37*, 73–94. [[CrossRef](#)]
2. Bridgman, S.A.; Clement, D.; Downing, A.; Walley, G.; Phair, I.; Maffulli, N. Population based epidemiology of ankle sprains attending accident and emergency units in the West Midlands of England, and a survey of UK practice for severe ankle sprains. *Emerg. Med. J.* **2003**, *20*, 508–510. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Hertel, J. Functional Anatomy, Pathomechanics, and Pathophysiology of Lateral Ankle Instability. *J. Athl. Train.* **2002**, *37*, 364–375. [[PubMed](#)]

4. Konradsen, L.; Bech, L.; Ehrenbjerg, M.; Nickelsen, T. Seven years follow-up after ankle inversion trauma. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2002**, *12*, 129–135. [[CrossRef](#)]
5. Willems, T.; Witvrouw, E.; Verstuyft, J.; Vaes, P.; De Clercq, D. Proprioception and Muscle Strength in Subjects With a History of Ankle Sprains and Chronic Instability. *J. Athl. Train.* **2002**, *37*, 487–493.
6. Docherty, C.L.; McLeod, T.C.V.; Shultz, S.J. Postural Control Deficits in Participants with Functional Ankle Instability as Measured by the Balance Error Scoring System. *Clin. J. Sport Med.* **2006**, *16*, 203–208. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Wright, C.J.; Linens, S.W.; Cain, M.S. A Randomized Controlled Trial Comparing Rehabilitation Efficacy in Chronic Ankle Instability. *J. Sport Rehabil.* **2017**, *26*, 238–249. [[CrossRef](#)]
8. Smith, B.I.; Curtis, D.; Docherty, C.L. Effects of Hip Strengthening on Neuromuscular Control, Hip Strength, and Self-Reported Functional Deficits in Individuals With Chronic Ankle Instability. *J. Sport Rehabil.* **2018**, *27*, 364–370. [[CrossRef](#)]
9. Cruz-Díaz, D.; Lomas-Vega, R.; Osuna-Pérez, M.C.; Contreras, F.H.; Martínez-Amat, A. Effects of 6 Weeks of Balance Training on Chronic Ankle Instability in Athletes: A Randomized Controlled Trial. *Int. J. Sports Med.* **2015**, *36*, 754–760. [[CrossRef](#)]
10. Ross, S.E.; Arnold, B.L.; Blackburn, J.T.; Brown, C.N.; Guskiewicz, K.M. Enhanced balance associated with coordination training with stochastic resonance stimulation in subjects with functional ankle instability: An experimental trial. *J. Neuroeng. Rehabil.* **2007**, *4*, 47. [[CrossRef](#)]
11. McKeon, P.O.; Stein, A.J.; Ingersoll, C.D.; Hertel, J. Altered Plantar-Receptor Stimulation Impairs Postural Control in Those With Chronic Ankle Instability. *J. Sport Rehabil.* **2012**, *21*, 1–6. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
12. Powden, C.J.; Hoch, J.M.; Hoch, M.C. Rehabilitation and Improvement of Health-Related Quality-of-Life Detriments in Individuals With Chronic Ankle Instability: A Meta-Analysis. *J. Athl. Train.* **2017**, *52*, 753–765. [[CrossRef](#)]
13. McKeon, P.O.; Ingersoll, C.D.; Kerrigan, D.C.; Saliba, E.; Bennett, B.C.; Hertel, J. Balance Training Improves Function and Postural Control in Those with Chronic Ankle Instability. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2008**, *40*, 1810–1819. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Powden, C.J.; Hoch, J.M.; Jamali, B.E.; Hoch, M.C. A 4-Week Multimodal Intervention for Individuals With Chronic Ankle Instability: Examination of Disease-Oriented and Patient-Oriented Outcomes. *J. Athl. Train.* **2019**, *54*, 384–396. [[CrossRef](#)]
15. Song, K.; Burcal, C.; Hertel, J.; Wikstrom, E.A. Increased visual utilization in chronic ankle instability: A meta-analysis. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2016**, *48*, 2046–2056. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
16. Song, K.; Rhodes, E.; Wikstrom, E.A. Balance Training Does Not Alter Reliance on Visual Information during Static Stance in Those with Chronic Ankle Instability: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Med.* **2018**, *48*, 893–905. [[CrossRef](#)]
17. Hertel, J. Sensorimotor Deficits with Ankle Sprains and Chronic Ankle Instability. *Clin. Sports Med.* **2008**, *27*, 353–370. [[CrossRef](#)]
18. Kim, K.-M.; Kim, J.-S.; Grooms, D.R. Stroboscopic Vision to Induce Sensory Reweighting During Postural Control. *J. Sport Rehabil.* **2017**, *26*, 1–11. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
19. Clark, J.F.; Ellis, J.K.; Bench, J.; Khoury, J.; Graman, P. High-Performance Vision Training Improves Batting Statistics for University of Cincinnati Baseball Players. *PLoS ONE* **2012**, *7*, e29109. [[CrossRef](#)]
20. Chan, L.; Heinemann, A.W.; Roberts, J. Elevating the Quality of Disability and Rehabilitation Research: Mandatory Use of the Reporting Guidelines. *Ann. Phys. Rehabil. Med.* **2014**, *57*, 558–560. [[CrossRef](#)]
21. Gribble, P.A.; Delahunt, E.; Bleakley, C.M.; Caulfield, B.; Docherty, C.L.; Fong, D.T.-P.; Fourchet, F.; Hertel, J.; Hiller, C.E.; Kaminski, T.W.; et al. Selection Criteria for Patients With Chronic Ankle Instability in Controlled Research: A Position Statement of the International Ankle Consortium. *J. Athl. Train.* **2014**, *49*, 121–127. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
22. Bennell, K.; Talbot, R.; Wajswelner, H. Intra-rater and inter-rater reliability of a weight-bearing lunge measure of ankle dorsiflexion. *Aust. J. Physiother.* **1998**, *44*, 175–180. [[CrossRef](#)]
23. Hoch, M.C.; Staton, G.S.; McKeon, J.M.M.; Mattacola, C.G.; McKeon, P.O. Dorsiflexion and dynamic postural control deficits are present in those with chronic ankle instability. *J. Sci. Med. Sport* **2012**, *15*, 574–579. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Hertel, J.; Braham, R.A.; Hale, S.A.; Olmsted-Kramer, L.C. Simplifying the Star Excursion Balance Test: Analyses of Subjects With and Without Chronic Ankle Instability. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2006**, *36*, 131–137. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. Gribble, P.A.; Hertel, J. Considerations for normormalizing measures of the Star Excursion Balance Test. *Meas. Phys. Ed. Exer. Sci.* **2003**, *7*, 89–100. [[CrossRef](#)]
26. Robinson, R.H.; Gribble, P.A. Support for a Reduction in the Number of Trials Needed for the Star Excursion Balance Test. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **2008**, *89*, 364–370. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Hiller, C.E.; Refshauge, K.M.; Bundy, A.C.; Herbert, R.D.; Kilbreath, S.L. The Cumberland Ankle Instability Tool: A Report of Validity and Reliability Testing. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **2006**, *87*, 1235–1241. [[CrossRef](#)]
28. Cruz-Díaz, D.; Hita-Contreras, F.; Lomas-Vega, R.; Osuna-Pérez, M.C.; Martínez-Amat, A. Cross-cultural adaptation and validation of the Spanish version of the Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT): An instrument to assess unilateral chronic ankle instability. *Clin. Rheumatol.* **2013**, *32*, 91–98. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. Wright, C.J.; Linens, S.W.; Cain, M.S. Establishing the Minimal Clinically Important Difference and Minimal Detectable Change for the Cumberland Ankle Instability Tool. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **2017**, *98*, 1806–1811. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
30. Martin, R.L.; Irrgang, J.J.; Burdett, R.G.; Conti, S.F.; Van Swearingen, J.M. Evidence of Validity for the Foot and Ankle Ability Measure (FAAM). *Foot Ankle Int.* **2005**, *26*, 968–983. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
31. Carcia, C.R.; Martin, R.L.; Drouin, J.M. Validity of the Foot and Ankle Ability Measure in Athletes With Chronic Ankle Instability. *J. Athl. Train.* **2008**, *43*, 179–183. [[CrossRef](#)]

32. Maher, C.G.; Sherrington, C.; Herbert, R.D.; Moseley, A.M.; Elkins, M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys. Ther.* **2003**, *83*, 713–721. [[CrossRef](#)]
33. Kim, K.-J.; Heo, M. Effects of virtual reality programs on balance in functional ankle instability. *J. Phys. Ther. Sci.* **2015**, *27*, 3097–3101. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Wright, C.J.; Arnold, B.L.; Ross, S.E.; Linens, S.W. Recalibration and Validation of the Cumberland Ankle Instability Tool Cutoff Score for Individuals With Chronic Ankle Instability. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **2014**, *95*, 1853–1859. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. McGuine, T.A.; Greene, J.J.; Best, T.; Levenson, G. Balance As a Predictor of Ankle Injuries in High School Basketball Players. *Clin. J. Sport Med.* **2000**, *10*, 239–244. [[CrossRef](#)]
36. Hoch, M.C.; Andreatta, R.D.; Mullineaux, D.R.; English, R.A.; McKeon, J.M.M.; Mattacola, C.G.; McKeon, P.O. Two-week joint mobilization intervention improves self-reported function, range of motion, and dynamic balance in those with chronic ankle instability. *J. Orthop. Res.* **2012**, *30*, 1798–1804. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. Schaefer, J.L.; Sandrey, M.A. Effects of a 4-week dynamic-balance-training program supplemented with Graston instrument-assisted soft-tissue mobilization for chronic ankle instability. *J. Sport Rehabil.* **2012**, *21*, 313–326. [[CrossRef](#)]
38. Hilgendorf, J.R.; Vela, L.I.; Gobert, D.V.; Harter, R.A. Influence of Vestibular–Ocular Reflex Training on Postural Stability, Dynamic Visual Acuity, and Gaze Stabilization in Patients With Chronic Ankle Instability. *Athl. Train. Sports Health Care* **2012**, *4*, 220–229. [[CrossRef](#)]
39. Ardakani, M.K.; Wikstrom, E.A.; Minoonejad, H.; Rajabi, R.; Sharifnezhad, A. Hop-Stabilization Training and Landing Biomechanics in Athletes With Chronic Ankle Instability: A Randomized Controlled Trial. *J. Athl. Train.* **2019**, *54*, 1296–1303. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
40. Shih, Y.-F.; Yu, H.-T.; Chen, W.-Y.; Liao, K.-K.; Lin, H.-C.; Yang, Y.-R. The effect of additional joint mobilization on neuromuscular performance in individuals with functional ankle instability. *Phys. Ther. Sport* **2018**, *30*, 22–28. [[CrossRef](#)]
41. Gabriner, M.L.; Houston, M.N.; Kirby, J.L.; Hoch, M.C. Contributing factors to Star Excursion Balance Test performance in individuals with chronic ankle instability. *Gait Posture* **2015**, *41*, 912–916. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
42. Terada, M.; Harkey, M.S.; Wells, A.M.; Pietrosimone, B.G.; Gribble, P.A. The influence of ankle dorsiflexion and self-reported patient outcomes on dynamic postural control in participants with chronic ankle instability. *Gait Posture* **2014**, *40*, 193–197. [[CrossRef](#)]
43. Hall, E.A.; Chomistek, A.K.; Kingma, J.J.; Docherty, C.L. Balance- and Strength-Training Protocols to Improve Chronic Ankle Instability Deficits, Part II: Assessing Patient-Reported Outcome Measures. *J. Athl. Train.* **2018**, *53*, 578–583. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
44. Hall, E.A.; Chomistek, A.K.; Kingma, J.J.; Docherty, C.L. Balance- and Strength-Training Protocols to Improve Chronic Ankle Instability Deficits, Part I: Assessing Clinical Outcome Measures. *J. Athl. Train.* **2018**, *53*, 568–577. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
45. Vallandingham, R.A.; Gaven, S.L.; Powden, C.J. Changes in Dorsiflexion and Dynamic Postural Control After Mobilizations in Individuals With Chronic Ankle Instability: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Athl. Train.* **2019**, *54*, 403–417. [[CrossRef](#)]
46. Wilkins, L.; Appelbaum, L.G. An early review of stroboscopic visual training: Insights, challenges and accomplishments to guide future studies. *Int. Rev. Sport Exerc. Psychol.* **2020**, *13*, 65–80. [[CrossRef](#)]
47. Appelbaum, L.G.; Erickson, G. Sports vision training: A review of the state-of-the-art in digital training techniques. *Int. Rev. Sport Exerc. Psychol.* **2018**, *11*, 160–189. [[CrossRef](#)]
48. Mitroff, S.R.; Friesen, P.; Bennett, D.; Yoo, H.; Reichow, A.W. Enhancing Ice Hockey Skills Through Stroboscopic Visual Training: A Pilot Study. *Athl. Train. Sports Health Care* **2013**, *5*, 261–264. [[CrossRef](#)]
49. Wilkins, L.; Gray, R. Effects of Stroboscopic Visual Training on Visual Attention, Motion Perception, and Catching Performance. *Percept. Mot. Ski.* **2015**, *121*, 57–79. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
50. Wilkins, L.; Nelson, C.; Twedde, S. Stroboscopic Visual Training: A Pilot Study with Three Elite Youth Football Goalkeepers. *J. Cogn. Enhanc.* **2017**, *2*, 3–11. [[CrossRef](#)]
51. Hülsmüller, T.; Rentz, C.; Ruhnau, D.; Käsbauer, H.; Strüder, H.K.; Mierau, A. The Effect of 4-Week Stroboscopic Training on Visual Function and Sport-Specific Visuomotor Performance in Top-Level Badminton Players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2019**, *14*, 343–350. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
52. Chang, Y.-T.; Meng, L.-F.; Chang, C.-J.; Lai, P.-L.; Lung, C.-W.; Chern, J.-S. Effect of Postural Control Demands on Early Visual Evoked Potentials during a Subjective Visual Vertical Perception Task in Adolescents with Idiopathic Scoliosis. *Front. Hum. Neurosci.* **2017**, *11*, 326. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
53. Grooms, D.; Appelbaum, G.; Onate, J. Neuroplasticity Following Anterior Cruciate Ligament Injury: A Framework for Visual-Motor Training Approaches in Rehabilitation. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2015**, *45*, 381–393. [[CrossRef](#)]
54. Taube, W.; Gollhofer, A.; Lauber, B. Training-, muscle- and task-specific up- and downregulation of cortical inhibitory processes. *Eur. J. Neurosci.* **2020**, *51*, 1428–1440. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
55. Beck, S.; Taube, W.; Gruber, M.; Amtage, F.; Gollhofer, A.; Schubert, M. Task-specific changes in motor evoked potentials of lower limb muscles after different training interventions. *Brain Res.* **2007**, *1179*, 51–60. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
56. Levy, A.R.; Polman, R.C.J.; Clough, P.J. Adherence to sport injury rehabilitation programs: An integrated psycho-social approach. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2008**, *18*, 798–809. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
57. Smith, T.Q.; Mitroff, S.R. Stroboscopic Training Enhances Anticipatory Timing. *Int. J. Exerc. Sci.* **2012**, *5*, 344–353.

ARTÍCULO III

**EFFECT OF NEUROMUSCULAR TRAINING VS STRENGTH
TRAINING IN CHRONIC ANKLE INSTABILITY. RANDOMIZED
CONTROLLED TRIAL**



1 Article

2 **Effect of neuromuscular training vs strength training in**
3 **Chronic Ankle Instability. Randomized Controlled Trial**

4 **Alejandro Estepa-Gallego¹, Yolanda Castellote-Caballero^{1*}, Mariola Estudillo-García², Marco Bergamin³, Stefano**
5 **Gobbo³ and David Cruz-Díaz¹**

6 ¹ Health Sciences Department, University of Jaen
7 ² Statistical and Applied Sciences Department, University of Jaen
8 ³ Medicine Department University of Padova, University of Jaen
9 * Correspondence: mycastel@ujaen.es;

0 **Abstract:** **Context:** Chronic ankle instability (CAI) is a complex condition. Limited mobility, per-
1 ceived instability and recurrent ankle sprains are common characteristics that reduce quality of life
2 in subjects who suffer CAI. Neuromuscular training and strength training have been recommended
3 in CAI management interventions. However, there are contradictory findings on results when com-
4 paring neuromuscular training, strength training and control group. The objective of this study was
5 to compare the effectiveness between 8-weeks neuromuscular intervention training, strength train-
6 ing and no intervention in a sporting population with reported CAI. **Design:** Randomized Con-
7 trolled Trial. **Methods:** sixty-seven athletes (age 27.96±8.380) with CAI were randomly assigned to
8 neuromuscular training group (NG), strength training group (SG) or control group (CG). Partici-
9 pants completed 8-weeks of neuromuscular training (a combination of static and dynamic exer-
10 cises), strength training (resistance bands exercises) or no training. Outcome measures were as-
11 sessed at baseline and after 8 weeks and include self-reported instability feeling (CAIT), dynamic
12 balance (SEBT), ankle dorsiflexion range of motion (WBLT) and functional status (FAAAM and
13 FAAAM-SPORT). **Results:** neuromuscular and strength groups showed significant differences be-
14 tween baseline and post-intervention. Control group also showed differences in Anterior direction
15 of SEBT and CAIT after 8-weeks. There were significant differences between strength and control
16 groups in posteromedial direction of SEBT, FAAM and FAAM-S. Cohen's d effect size as weak
17 (≤0.2), small (0.2 to .05), moderate (0.5 to 0.8) and large (>.08) and p-value was set a prior at p<0.05.
18 **Conclusions:** Results of our intervention suggest that neuromuscular training and strength training
19 based on resistance bands exercises have significant improvements on ankle dorsiflexion, subjec-
20 tive feeling of instability, functional status and dynamic balance in patients with CAI. Although
21 there are differences between intervention groups it is not possible to determine whether neuro-
22 muscular training is superior to strength training.

26 **Citation:** Lastname, F.; Lastname, F.;
27 Lastname, F. Title. *Int. J. Environ.*
28 *Res. Public Health* **2022**, *19*, x.
29 <https://doi.org/10.3390/xxxxx>

30 Academic Editor: Firstname Last-
31 name

32 Received: date

33 Accepted: date

34 Published: date

Publisher's Note: MDPI stays neu-
35 tral with regard to jurisdictional
36 claims in published maps and institu-
37 tional affiliations.



38 **Copyright:** © 2022 by the authors.
39 Submitted for possible open access
40 publication under the terms and
41 conditions of the Creative Commons
42 Attribution (CC BY) license
43 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Keywords: chronic ankle instability; neuromuscular training; strength training; self-reported insta-
bility; dynamic balance.

1. Introduction

Ankle sprain is the major ankle injury at sport, with a prevalence of 76.7% of the
ankle injuries¹. The estimated prevalence of ankle injuries is 11,88% and only 50% will
seek for medical help, so it is believed that the incidence of ankle sprains is higher than
described². Around 50% of the ankle sprains occur during sport practice, more frequently
in indoor sports such as volleyball and basketball, and it is also common in soccer, since
around 58,5% of soccer and basketball players have suffer at least one ankle sprain in their
entire career¹⁻⁴. There is a high economic impact related to ankle sprains since cost ranged
from \$1809 to \$5271 for each ankle sprain⁵.

An initial ankle sprain is the principal risk factor of developing Chronic Ankle Instability (CAI) with a prevalence ranged from 0% to 73%^{2,4}. The term CAI, is defined as the inability to maintain the normal mobility of the ankle, losing its control in some situations and causing repetitive sprains and constant insecurity feeling during the execution of functional activities following an ankle sprain⁴. It is a condition characterized by repeated episodes of “giving way” of the ankle; associated symptoms such as pain, weakness or decreased range of dorsiflexion (DFROM); decreased self-perceived functionality; feeling of instability; and recurrent sprains^{2,4}.

Hertel et al. (2019)⁴ proposed an actualization of the Hertel model of CAI (2002)⁶ based on dynamic complex systems⁷ and Melzack’s theory of pain neuromatrix⁸. According to this theory, after the primary tissue injury, people could develop symptoms related to CAI and all of them could be influenced by the others, resulting in different possible outcomes⁴. Development of pathomechanical impairments may result in limited dorsiflexion range of motion (DFROM), whereas sensory-perceptual impairments could include perceived instability or lower self-reported function. Another possibility is that motor-behavioral impairments negatively modify balance, neuromuscular control or postural control⁴.

Neuromuscular training and strength training have been shown to improve dynamic balance^{9,10}, functional status¹¹, DFROM¹² and subjective feeling of instability^{9,10} in people with ankle sprains and CAI. Some investigators found that strength training could improve ankle strength and joint position sense in dorsiflexion, plantarflexion and inversion position due to changes in neuromuscular spindle sensitivity or in central mechanisms, improving proprioception deficits that are predisposal factors of recurrent sprain and therefore CAI condition^{2,13-15}.

We hypothesized that both intervention groups would obtain significant improvements in the variables studied, with a possible superiority of neuromuscular training over strength training because it is an integral treatment that includes more elements susceptible to be affected in patients with CAI.

The aim of the present study was to determine the effectiveness of an 8-weeks neuromuscular training in comparison with an 8-weeks strengthening training and 8-weeks of no intervention in a sporting population between 18 and 60 years.

2. Materials and Methods

T Study design

Participants were randomly assigned to neuromuscular training group (NG), strength training group (SG) and control group with no intervention (CG) if they met the inclusion criteria.

Inclusion criteria was consistent with recommendations made from International Ankle Consortium¹⁶ and was checked before the intervention: (1) to have suffered the first sprain at least 6 months before the beginning of the study; (2) participants could not have suffered an acute sprain in the 6 previous weeks to the beginning of the study; (3) not recent ankle surgery; (4) epilepsy or previous seizures; (5) not lower limb nor another known injury that affects the sensory-motor function; (6) those participants with bilateral ankle dysfunction could participate, but the ankle enrolled was the most injured; (7) CAIT score ≤ 24 ; (8) and we added another inclusion criteria for our investigation: to be physically active (perform physical activity at least 3 hours per week).

Exclusion criteria were: to be receiving treatment for the ankle in the 6-weeks before our intervention; to have suffered an acute sprain in the 6 weeks before the intervention;

history of other lower-extremity injuries or neuromuscular deficits different to CAI; previous recent surgical intervention that affects the lower limb.

The intervention sequence was randomized by an independent investigator who used a random number generator and sealed the treatment sequence in opaque envelopes which were opened prior to performing the first intervention. All interventions were performed by a single physiotherapist who was blinded to the randomization procedure.

This study was approved by the University of Jaen's Human Ethical Committee on 2018, April and conducted following the Declaration of Helsinki, good clinical practices, and applicable laws and regulations and meets the CONSORT guidelines standards¹⁷. We obtained Informed Consent from all participants and all their rights were protected.

Participants

We carried out a sample of volunteers via social media, posters in different University locations and by word of mouth. Participants from each group did not know the other interventions, so they were blinded.

Intervention

All participants performed an 8-week period between pre-test and post-test. One group received no intervention, while the other two performed an 8-week training program based on different exercises depending on the group randomly assigned.

Control group (CG)

Participants in this group received no intervention in the 8-weeks.

Neuromuscular training group (NG)

It consisted in a multi-station training with 6 exercises, increasing the difficulty progressively as the participants controlled the execution. The exercises were all performed barefoot and with the injured foot. These were a combination of standing and jumping exercises involving the injured ankle. The participants did not start the next progression until they perform a complete circuit in the level before.

All participants completed 16 training sessions divided in 8 weeks. Each session needed around 20-25' for been performed and all of them were assessed by a clinician (Figure 1).

Strength training group (SG)

It was performed with resistance bands. The band was fastened to the unaffected ankle, while the participant was told to perform front and back pulls, as well as adduction and abduction movements with the affected ankle. They were told to control the ankle movement and to make it slow. Since the first day, they were told to perform the exercise pulling the band as if they wanted to make a resistance of 5 in a scale from 0 to 10.

All participants completed 16 training sessions divided in 8 weeks. Each session needed around 10-15' (Figure 2).

Outcomes measure

Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT)

To determine the presence and severity of CAI, participants completed the Cumberland Ankle Instability Tool, a valid and reliable instrument for measuring the severity of CAI. CAIT is a 9-item subjective questionnaire with a range score from 0 (severe instability) to 30 (normal stability)¹⁸. Scores ≤ 24 shows sensitivity and specificity to identify people with CAI¹⁸.

Foot and Ankle Ability Measure (FAAM)

We assessed functional status in daily living and sports function with the two-dimension questionnaire Foot and Ankle Ability Measure (FAAM and FAAM-Sport). It is useful detecting self-reported functional deficits in patients with CAI¹⁹

Star Excursion Balance Test (SEBT)

The premise of using SEBT is to determine if, while standing on the injured limb to maintain stability, a deficit is produced in the reaching distances, indicating a deficiency in dynamic postural-control or balance that might be associated with the pathologic condition in the stance limb²⁰.

SEBT has demonstrated to be valid and useful in demonstrating outcomes from neuromuscular and strengthening exercise interventions²⁰. In our measures, we used the three directions variant of SEBT. In this test, the participant has to reach the maximum distance in three directions: anterior (A), posteromedial (PM) and posterolateral (PL)²⁰.

Weight Bearing Lunge Test (WBLT)

Investigators have demonstrated strong evidence for good inter- and intra-clinician reliability of the WBLT to assess Dorsiflexion Range Of Motion (DFROM). This suggests that this test should be used to assess DFROM as it provides consistent and repeatable results between one or more clinicians^{21,22}.

The WBLT involves a patient standing in a tandem stance and performing a forward lunge. During this task, the involved foot remains firmly planted on the ground as the tibia is progressed over the talus into maximum dorsiflexion. A variety of measurement techniques can then be used to quantify DFROM. The most common DFROM quantification technique involved the measurement of the distance of the great toe to the wall using a simple tape measure²¹. While performing the WBLT, the clinician controls the position of the feet, the knees and the pelvis, in order to check that the test is executed correctly²².

Statistical Analyses

All analyses were performed using IBM SPSS 24.0 statistical software (IBM Corp, Armonk, NY, USA). The Shapiro-Wilk test was employed to confirm normal distributions of continuous variables ($n < 50$). One-way analysis of variance (ANOVA) tests for continuous variables (if the hypothesis of normality was verified) and Kruskal-Wallis tests for categorical variables (in the absence of normality) were performed to examine differences between 3 groups: neuromuscular training, strength training and control. For detecting between-groups differences it was applied multiple comparisons or post-hoc.

For each of outcome variable (CAIT, FAAM and FAAM-S, DFROM, and SEBT), a two-way ANOVA (Group and Time) with repeated measures was conducted to determine treatment effects among the groups. Post hoc Tukey HSD tests were performed to locate specific differences in the presence of significant interactions or main effects. To assess within-group effect sizes, Cohen's d effect sizes were calculated. The strength of treatment effects was interpreted using Cohen's d effect size as weak (≤ 0.2), small (0.2 to .05), moderate (0.5 to 0.8) and large (> 0.8) according with Cohen's benchmarks²³. Alpha level was set a priori at $p < 0.05$.

3. Results

A total of 67 participants were enrolled in the study for meeting the inclusion criteria and not meeting the exclusion criteria.

No group differed in any of demographic and baseline measures, indicating that groups were similar in their demographic and clinical characteristics, except on Anterior

direction of SEBT variable ($p=0.032$), with differences between NG and CG ($p=0.039$) when applying post hoc HSD Tukey method (Table 1).

Within-group change scores (Table 2) showed significant differences for NG and SG in all variables between baseline and post-intervention. Control group also showed differences in anterior direction of SEBT and CAIT variables after 8-weeks.

Between-Group analysis (Table 3) showed significant differences between strength and control groups only in three variables: posteromedial direction of SEBT with large effect size ($p=0.012$; IC 95%=0.715, 6.998); FAAM-ADL with large effect size ($p=0.041$; IC 95%=0.20, 11.94); and FAAM-Sport with large effect size ($p=0.012$; IC 95%=1.21, 11.42).

Table 1. Demographic characteristics at baseline and post-intervention for all individuals, control group and experimental groups.

Characteristic		All (n=67)	NG (n=23) (Group=1)	SG (n=22) (Group=2)	CG (n= 22) (Group=3)	p-value*
Age: mean \pm SD (years)		27.96 \pm 8.380	27.09 \pm 5.830	29.45 \pm 10.662	27.36 \pm 8.290	0.860
Height: mean \pm SD (cm)		172.03 \pm 7.926	173.70 \pm 7.055	171.82 \pm 8.721	170.50 \pm 7.981	0.402
Gender: n(%)	Male	41 (61.2%)	14 (60.9%)	11 (50%)	16 (72.7%)	0.302
	Female	26 (21.8%)	9 (39.1%)	11 (50%)	6 (27.3%)	
Weight: mean \pm SD (kg)		70.121 \pm 9.0354	70.309 \pm 8.8384	71.195 \pm 9.3540	68.850 \pm 9.1816	0.692
Affected ankle: n(%)	Left	30(44.8%)	10 (43.5%)	12 (54.5%)	8 (36.4%)	0.474
	Right	37(55.2%)	13 (56.5%)	10 (45.5%)	14 (63.6%)	
BASELINE						
DFROM_1: mean \pm SD		7.437 \pm 2.7379	6.857 \pm 2.9697	7.882 \pm 2.8149	7.600 \pm 2.4069	0.369
SEBT_Ant_1: mean \pm SD		77.006 \pm 4.5017	78.126 \pm 5.1547	77.932 \pm 4.3992	74.909 \pm 3.1022	0.032*
SEBT_PM_1: mean \pm SD		83.336 \pm 4.9120	82.139 \pm 4.9386	84.000 \pm 5.7407	83.923 \pm 3.8640	0.359
SEBT_PL_1: mean \pm SD		81.845 \pm 6.2571	79.513 \pm 5.8896	82.282 \pm 7.3574	83.745 \pm 4.7472	0.056
CAIT_1: mean \pm SD		14.58 \pm 5.013	14.13 \pm 5.216	13.91 \pm 4.740	15.73 \pm 5.091	0.172
FAAM_ADL_1: mean \pm SD		75.03 \pm 8.334	74.57 \pm 8.649	76.45 \pm 7.398	74.09 \pm 9.050	0.615
FAAM_SPORT_1: mean \pm SD		68.28 \pm 6.213	67.83 \pm 6.365	68.00 \pm 6.782	69.05 \pm 5.652	0.715

Data are given as means \pm standard deviations for continuous variables and frequencies/percentages for categorical variables. Abbreviation: NG, Neuromuscular Group; SG, Strength Group; CG, Control Group; DFROM, Dorsiflexion Range Of Motion; SEBT, Star Excursion Balance Test; Ant, anterior; PM, postero-medial; PL, postero-lateral; CAIT, Cumberland Ankle Instability Tool ranging from 0 (severe instability) to 30 (normal stability); FAAM_ADL, Foot and Ankle Ability Measure in Activities of Daily Life; FAAM_SPORT, Foot and Ankle Ability Measure in Sports activities. P-value is associated with either one-way analysis of variance test (ANOVA) or with Kruskal-Wallis (depending on whether or not the normality hypothesis is verified) for continuous variables or Pearson's χ^2 for categorical variables. Statistical Differences ()

Table 2. Within-Group Change Scores Between Pre-and Postintervention Measurements

	Group								
	NG (n=23) (Group=1)			SG (n=22) (Group=2)			CG (n= 22) (Group=3)		
	Baseline	End of Intervention	Within-Group Change (95%CI)	Baseline	End of Intervention	Within-Group Change (95%CI)	Baseline	End of Intervention	Within-Group Change (95%CI)
DFROM	6.857 ± 2.9697	8.330 ± 2.7244	1,4739 (0.7123,2.2355)*	7.882 ± 2.8149	9.268 ± 2.8603	1.3864 (0.8034,1.9693)*	7.600 ± 2.4069	8.086 ± 2.7231	0.4864 (-0.1118,1.0846)
SEBT_ANT	78.126 ± 5.1547	85.970 ± 6.5202	7,8435 (6,3056,9,3814)*	77.932 ± 4.3992	86.241 ± 4.3260	8.3091 (7.2061,9.4121)*	74.909 ± 3.1022	83.314 ± 6.3747	8.4045 (5.9766,10.8325)*
SEBT_PM	82.139 ± 4.9386	89.887 ± 5.3544	7,7478 (4,9075,10,5881)*	84.000 ± 5.7407	91.205 ± 5.3639	7.2045 (4.9365, 9.4726)*	83.923 ± 3.8640	83.568 ± 5.8907	-0.3545 (-2.8872,2.1783)
SEBT_PL	79.513 ± 5.8896	88.161 ± 5.3781	8,6478 (6,0133,11,2824)*	82.282 ± 7.3574	89.586 ± 4.8774	7.2045 (4.7390, 9.6701)*	83.745 ± 4.7472	84.118 ± 5.4221	0.3727 (-1.1848,1.9303)
CAIT	14.13 ± 5.216	20.74 ± 5.172	6,609 (4,281,8,936)*	13.91 ± 4.740	20.50 ± 4.585	6.591 (4.889,8.293)*	15.73 ± 5.091	17.59 ± 6.045	1.864 (0.535,3.192)*
FAAM_ADL	74.57 ± 8.649	84.78 ± 10.278	10,217 (6,678,13,757)*	76.45 ± 7.398	84.95 ± 7.524	8.500 (4.930,12.070)*	74.09 ± 9.050	74.18 ± 10.613	1.091 (-2.106,4.288)
FAAM_SPORT	67.83 ± 6.365	83.26 ± 9.724	15,435 (11,638,19,231)*	68.00 ± 6.782	85.77 ± 7.197	17.773 (15.325,20.220)*	69.05 ± 5.652	72.09 ± 11.447	3.045 (-1.072,7.163)

Statistical Differences (*)

15 **Table 3.** Between-Groups Effect Sizes

	NG vs SG		NG vs CG		SG vs CG	
	Between-Group Change (95% CI)	Cohen d (95%)	Between-Group Change (95% CI)	Cohen d (95%)	Between-Group Change (95% CI)	Cohen d (95%)
DFROM	-0.982 (-2.880, 0.917)	-1.7555 (-2.4434, 1.0676)	-0.250 (-2.149, 1.649)	-0.4469 (-1.0389, 0.1448)	0.732 (-1.188, 2.652)	1.2933 (0.6435, 1.9431)
SEBT_Ant	-0.039 (-3.418, 3.341)	-0.0001 (-0.5845, 0.5844)	2.936 (-0.443, 6.316)	0.0042 (-0.5803, 0.5887)	2.975 (-0.442, 6.392)	2.9543 (2.0998, 3.8089)
SEBT_PM	-1.589 (-4.697, 1.518)	-1.736 (-2.4218, -1.0503)	2.268 (-0.840, 5.375)	2.4778 (1.7009, 3.2548)	3.857 (0.715, 6.998)*	4.1652 (3.1133, 5.2172)
SEBT_PL	-2.147 (-5.760, 1.466)	-2.0164 (-2.7341, -1.2986)	-0.095 (-3.708, 3.518)	-0.0892 (-0.674, 0.4956)	2.052 (-1.601, 5.705)	1.9053 (1.1928, 2.6178)
CAIT	0.23 (-3.14, 3.60)	0.2314 (-0.355, 0.8179)	0.78 (-2.60, 4.15)	0.7808 (0.1745, 1.3872)	0.55 (-2.86, 3.96)	0.5433 (-0.0585, 1.145)
FAAM_ADL	-1.03 (-6.84, 4.78)	-0.6027 (-1.2003, -0.0051)	5.04 (-0.77, 10.84)	2.9451 (2.1014, 3.7888)	6.07 (0.20, 11.94)*	3.5081 (2.5666, 4.4496)
FAAM_SPORT	-1.34 (-6.39, 3.71)	-0.9024 (-1.5159, -0.2889)	4.98 (-0.07, 10.03)	3.3429 (2.4382, 4.2477)	6.32 (1.21, 11.42)*	4.198 (3.1404, 5.2556)

16226

17 Statistical Differences (*)

18228

19

4. Discussion

20

21

22

23233

24

25

26

27

28238

29

30

31

32

33

The aim of the present study was to determine the influence of neuromuscular training and strength training on functional status, subjective feeling of instability, dynamic balance and ankle DFROM in patients with CAI.

Both neuromuscular training and strength training groups improved all variables, with no differences between groups on dynamic balance, functional status, subjective feeling of instability and ankle DFROM. Surprisingly, control group improved dynamic balance and CAIT despite no receiving treatment.

Subjective feeling of instability is probably the most common characteristic in those with CAI and the influence in functional status and quality of life has been widely addressed^{18,24,25}. No statistically significant differences were observed between the two intervention groups, which is similar to results of reported by previous research²⁵ and is in contrast with others studies where neuromuscular training group was superior to

4 strength training in CAIT scores^{9,10}. However, it is possible to identify better improve-
5 ments on NG respect SG with an effect size $d=0.23$. Wright et al.²⁴ described that Minimal
6 Detectable Change (MDC) and Minimal Clinically Important Difference (MCID) should
7 exceed 3 points in CAIT for being relevant. Both intervention groups exceeded the MCID
8 with a slight but not statistical superiority of NG vs SG (NG=6.609 IC 95%=4.281, 8.936;
9 SG=6.591 IC 95%=4.889, 8.293). Final CAIT scores did not reach the cut-off point of 24 to
10 be considered as patients with self-reported stability. The severity of the patients allocated
11 to these groups may be a plausible explanation of these findings.

12
13 Self-reported physical function is reduced in subjects with CAI and could be meas-
14 ured with FAAM and FAAM-S to determine the influence of CAI in daily living activities
15 as well as sport related activities^{19,26}. Kim et al.²⁶, found improvements on self-reported
16 function in balance training and hop-stabilization tasks and Ardakani et al.²⁷ obtained
17 similar results in an intervention consisting on hop-stabilization training in both FAAM
18 and FAAM-S subscales. These improvements are in accordance to our results where NG
19 group showed greater within-group change scores than SG and CG. This suggest that NG
20 intervention could be a recommended due to the complex etiology of CAI vs a more iso-
21 lating intervention. Regarding SG, obtained results in FAAM and FAAM-S agree with the
22 described results of Hall et al.,¹¹ with a similar strength based intervention. A recent sys-
23 tematic review⁹ found no improvements on FAAM and FAAM-S outcomes after strength
24 training protocol, but these training protocols were heterogenous and they concluded fur-
25 ther investigation is needed.

26
27 Our results showed that both NG and SG had improvements after intervention on
28 dynamic balance when measured with SEBT in all directions. In accordance with previous
29 studies, our neuromuscular training improved dynamic balance when compared with
30 baseline and it could be an effective form of secondary prevention for recurrent ankle
31 sprain in sporting populations with CAI²⁸. Our results agree with the reported data by
32 Docherty et al.¹⁴, who found that a 6-week strengthening program increases strength,
33 inversion joint position sense (JPS), dorsiflexion JPS, and plantar flexion JPS in subjects
34 with functionally unstable ankles. The stimulus provided to mechanoreceptors placed on
35 the myotendinous junction, due to the produced force during training may play an im-
36 portant role in proprioception deficit, somatosensory pathways and thus could enhance
37 dynamic balance in patients with CAI^{13,15}. In contrast, Hall et al, 2015²⁹ showed that
38 strength training could not be effective for improving dynamic balance in individuals
39 with CAI when compared with control group, which is partially in accordance with our
40 results on anterior and postero-lateral directions. An isolating strength training interven-
41 tion could be beneficial to elicitate some muscles groups such as peroneus and tibialis
42 whose coactivation is very important to ankle sprain prevention and functional status in
43 CAI patients. Nevertheless, dynamic balance depends not only on a group muscular force
44 and required a global coordination of the whole body including core, hip or knee stabi-
45 lizers. Different outcomes were obtained by Luan et al.,⁹ who found that balance training
46 could be superior than strength training and no training on SEBT. Our investigation
47 showed between-group differences on SEBT only when comparing SG and CG on PM
48 direction of SEBT. These results could be explained taking into account the observed im-
49 provement in the CG which could be related to the characteristics of the population (active
50 population).

51
52 Reduced DFROM is a frequent characteristic in individuals with CAI^{2,4,28}. De-
53 creased or asymmetries on this variable appears to be a risk factor for the development of
54 other injuries such as knee osteoarthritis or ACL injury². Previous studies found improve-
55 ments in DFROM with neuromuscular training¹². In our study there were improvements
56 in DFROM when comparing baseline data in NG and SG, but the change was not enough
57 to be consider as statistically significant in comparison with CG. Decreased DFROM has

298 been stated to be correlated with anterior and posterolateral reach directions of the SEBT,
299 but not with PM direction²⁸ and this could be related to our improvements in PM direc-
300 tion of SEBT in SG because we found differences between groups just in this variable.

301 LIMITATIONS

302 Limitations of this research were:

- 303 - It was not possible to control daily life activities of participants and our study pop-
304 ulation was physically active, which could influence obtained outcomes, especially on CG
305 because of their usual physical activities.
- 306 - Target intensity control to calculate the training volume for each patient is difficult.
- 307 - Influence of the patient's previous beliefs and expectatives about CAI and the treat-
308 ment usually received and how popular belief may influence satisfaction with the treat-
309 ment received and the results of the variables studied.

311 CONFLICT OF INTEREST

312 Authors declare no conflict of interests.

313 5. Conclusions

314 Our results suggest there are improvements on NG and SG when comparing with
315 baseline, obtaining significant differences regarding CG on functional status and postero-
316 medial direction on dynamic balance in SG patients. Although some differences were ob-
317 served between the intervention groups, it is not possible to establish a relationship of
318 superiority between any of them in active population with CAI.

319 References

- 320 1. Herzog MM, Kerr ZY, Marshall SW, Wikstrom EA. Epidemiology of ankle sprains and chronic ankle instability. *Journal of athletic training*. 2019;54(6):603-610.
2. Martin RL, Davenport TE, Fraser JJ, et al. Ankle Stability and Movement Coordination Impairments: Lateral Ankle Ligament Sprains Revision 2021: Clinical Practice Guidelines Linked to the International Classification of Functioning, Disability and Health From the Academy of Orthopaedic Physical Therapy of the American Physical Therapy Association. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2021;51(4):CPG1-CPG80.
3. Ekstrand J, Kruttsch W, Spreco A, et al. Time before return to play for the most common injuries in professional football: a 16-year follow-up of the UEFA elite Club injury study. *British journal of sports medicine*. 2020;54(7):421-426.
4. Hertel J, Corbett RO. An updated model of chronic ankle instability. *Journal of athletic training*. 2019;54(6):572-588.
5. Bielska IA, Wang X, Lee R, Johnson AP. The health economics of ankle and foot sprains and fractures: A systematic review of English-language published papers. Part 2: The direct and indirect costs of injury. *The Foot*. 2019;39:115-121.
6. Hertel J. Functional Anatomy, Pathomechanics, and Pathophysiology of Lateral Ankle Instability. *Journal of athletic training*. Dec 2002;37(4):364-375.
7. Balagué N, Torrents C, Hristovski R, Kelso J. Sport science integration: An evolutionary synthesis. *European Journal of Sport Science*. 2017;17(1):51-62.
8. Melzack R. Pain and the neuromatrix in the brain. *Journal of dental education*. 2001;65(12):1378-1382.
9. Luan L, Adams R, Witchalls J, Ganderton C, Han J. Does strength training for chronic ankle instability improve balance and patient-reported outcomes and by clinically detectable amounts? A systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy*. 2021;
10. Kosik KB, McCann RS, Terada M, Gribble PA. Therapeutic interventions for improving self-reported function in patients with chronic ankle instability: a systematic review. *British journal of sports medicine*. Jan 2017;51(2):105-112. doi:10.1136/bjsports-2016-096534 [doi]
11. Hall EA, Chomistek AK, Kingma JJ, Docherty CL. Balance-and strength-training protocols to improve chronic ankle instability deficits, part II: Assessing patient-reported outcome measures. *Journal of athletic training*. 2018;53(6):578-583.
12. Lazarou L, Kofotolis N, Pafis G, Kellis E. Effects of two proprioceptive training programs on ankle range of motion, pain, functional and balance performance in individuals with ankle sprain. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*. 2018;31(3):437-446.
13. Cruz-Díaz D. Inestabilidad crónica de tobillo: tratamiento mediante movilizaciones articulares y un programa de entrenamiento propioceptivo. Validación de la versión española del cuestionario "Cumberland Ankle Instability Tool". 2013;

- 9 14. Docherty CL, Moore JH, Arnold BL. Effects of strength training on strength development and joint position sense in functionally
10 unstable ankles. *Journal of athletic training*. Oct 1998;33(4):310-314.
- 11 15. Schifftan GS, Ross LA, Hahne AJ. The effectiveness of proprioceptive training in preventing ankle sprains in sporting popula-
12 tions: a systematic review and meta-analysis. *Journal of science and medicine in sport*. May 2015;18(3):238-244.
13 doi:10.1016/j.jsams.2014.04.005 [doi]
- 14 16. Gribble PA, Delahunt E, Bleakley C, et al. Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a
15 position statement of the International Ankle Consortium. *British journal of sports medicine*. Jul 2014;48(13):1014-1018.
16 doi:10.1136/bjsports-2013-093175 [doi]
- 17 17. Group C. CONSORT 2010 checklist of information to include when reporting a randomised trial. <http://www.consort-statement.org/>
18
- 19 18. Wright CJ, Arnold BL, Ross SE, Linens SW. Recalibration and validation of the Cumberland Ankle Instability Tool cutoff score
20 for individuals with chronic ankle instability. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. Oct 2014;95(10):1853-1859.
21 doi:10.1016/j.apmr.2014.04.017 [doi]
- 22 19. Carcia CR, Martin RL, Drouin JM. Validity of the Foot and Ankle Ability Measure in athletes with chronic ankle instability.
23 *Journal of athletic training*. 2008;43(2):179-183.
- 24 20. Gribble PA, Hertel J, Plisky P. Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes
25 in lower extremity injury: a literature and systematic review. *Journal of athletic training*. 2012;47(3):339-357.
- 26 21. Powden CJ, Hoch JM, Hoch MC. Reliability and minimal detectable change of the weight-bearing lunge test: A systematic
27 review. *Manual therapy*. Aug 2015;20(4):524-532. doi:10.1016/j.math.2015.01.004 [doi]
- 28 22. Powden CJ, Hogan KK, Wikstrom EA, Hoch MC. The Effect of 2 Forms of Talocrural Joint Traction on Dorsiflexion Range of
29 Motion and Postural Control in Those With Chronic Ankle Instability. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2017;26(3):239-244.
- 30 23. Cohen J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. 2nd Edition. ed. Hillsdale, New Jersey: 12 Lawrence Erlbaum
31 Associates Inc.: Lawrence Erlbaum; 1988.
- 32 24. Wright CJ, Linens SW, Cain MS. Establishing the Minimal Clinical Important Difference and Minimal Detectable Change for
33 the Cumberland Ankle Instability Tool. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. Sep 2017;98(9):1806-1811. doi:S0003-
34 9993(17)30033-3 [pii]
- 35 25. Wright CJ, Linens SW, Cain MS. A randomized controlled trial comparing rehabilitation efficacy in chronic ankle instability.
36 *Journal of Sport Rehabilitation*. 2017;26(4):238-249.
- 37 26. Kim K-M, Estudillo-Martínez MD, Castellote-Caballero Y, Estepa-Gallego A, Cruz-Díaz D. Short-Term Effects of Balance Train-
38 ing with Stroboscopic Vision for Patients with Chronic Ankle Instability: A Single-Blinded Randomized Controlled Trial. *Inter-
39 national journal of environmental research and public health*. 2021;18(10):5364.
- 40 27. Ardakani MK, Wikstrom EA, Minoonejad H, Rajabi R, Sharifnezhad A. Hop-stabilization training and landing biomechanics in
41 athletes with chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *Journal of athletic training*. 2019;54(12):1296-1303.
- 42 28. Cruz-Diaz D, Lomas-Vega R, Osuna-Pérez MC, Contreras FH, Martínez-Amat A. Effects of 6 weeks of balance training on
43 chronic ankle instability in athletes: a randomized controlled trial. *International Journal of Sports Medicine*. 2015;36(09):754-760.
- 44 29. Hall EA, Docherty CL, Simon J, Kingma JJ, Klossner JC. Strength-training protocols to improve deficits in participants with
45 chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *Journal of athletic training*. 2015;50(1):36-44.

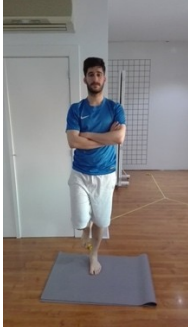


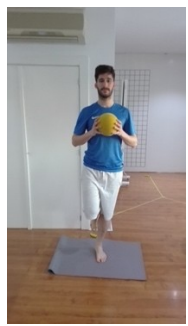
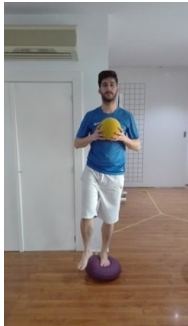
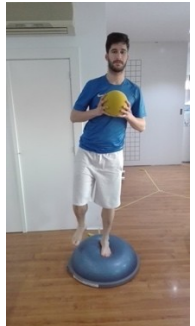
6386


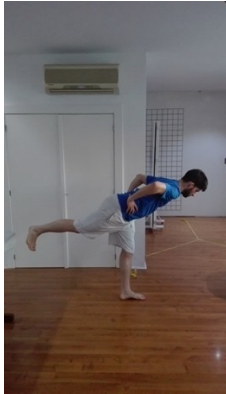

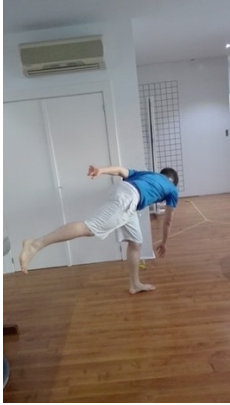
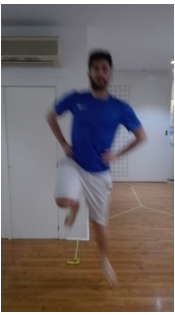
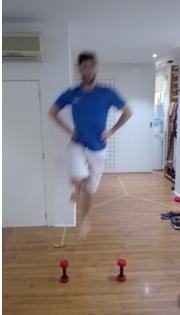
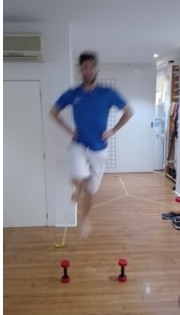
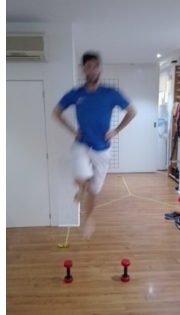
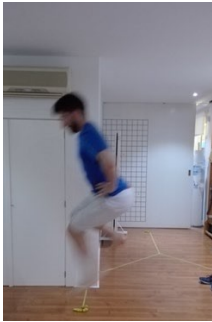

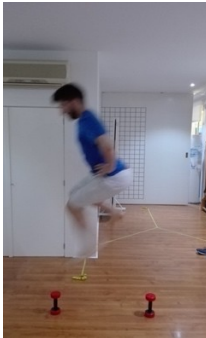
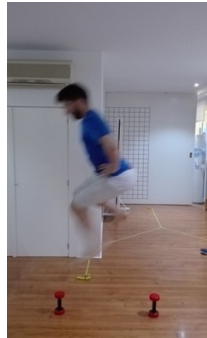
7387

8
9

Anexed figures:

Figure 1. Neuromuscular exercises

Basic exercise	Progression 1	Progression 2	Progression 3
 <p data-bbox="213 792 475 1003">Crossed arms, unipodal balance on the floor (60'')</p>	 <p data-bbox="555 792 767 913">Mat unipodal balance (30'')</p>	 <p data-bbox="863 792 1075 913">Mat unipodal balance (60'')</p>	 <p data-bbox="1174 792 1402 913">Dinair unipodal balance (30'')</p>
 <p data-bbox="213 1397 475 1697">Throwing/receiving a ball. Unipodal on the floor (10 repetitions)</p>	 <p data-bbox="507 1397 791 1608">Throwing/receiving a ball. Mat unipodal (10 repetitions)</p>	 <p data-bbox="817 1397 1101 1608">Throwing/receiving a ball. Dinair unipodal (10 repetitions)</p>	 <p data-bbox="1126 1397 1410 1608">Throwing/receiving a ball. Bosu unipodal (10 repetitions)</p>

 <p>Single leg deadlift (10 repetitions)</p>	 <p>Hands at the hip (10 repetitions)</p>	 <p>With a light weight (10 repetitions)</p>	 <p>Reaching 3 points (10 repetitions)</p>
 <p>Lateral jumps between cones with hands at the hip (10 repetitions)</p>	 <p>Lateral jumps between cones with hands at the hip (10 repetitions) (30 cm)</p>	 <p>Lateral jumps between cones with hands at the hip (10 repetitions) (45 cm)</p>	 <p>Lateral jumps between cones with hands at the hip (10 repetitions) (1 m)</p>
 <p>Back and forward jumps with</p>	 <p>Back and forward jumps with hands at</p>	 <p>Back and forward jumps with hands at</p>	 <p>Back and forward jumps with hands at</p>

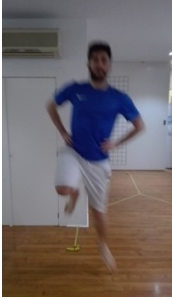
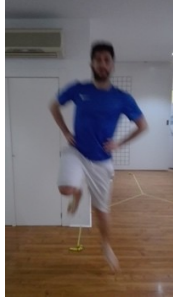
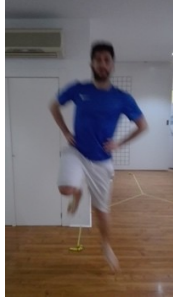
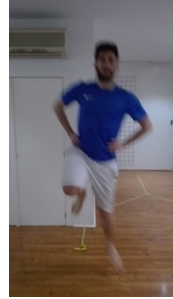




hands at the hip (10 repetitions)	the hip (10 repetitions) (30 cm)	the hip (10 repetitions) (45 cm)	the hip (10 repetitions) (1 m)
			
Randomized jumps in 4 directions (10 repetitions)	Randomized jumps in 4 directions (10 repetitions)	Randomized jumps in 4 directions (10 repetitions)	Randomized jumps in 4 directions (10 repetitions)

Figure 2. Strength training exercises

Dorsiflexion with resistance bands	Plantarflexion with resistance bands
	
Eversion with resistance bands	Inversion with resistance bands
	

0
1
2

3

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Hicks J. The mechanics of the foot: II. The plantar aponeurosis and the arch. *Journal of anatomy*. 1954;88(Pt 1):25.
2. Hagedorn TJ, Dufour AB, Riskowski JL, et al. Foot disorders, foot posture, and foot function: the Framingham foot study. *PloS one*. 2013;8(9):e74364.
3. Cobden A, Camurcu Y, Sofu H, Ucpunar H, Duman S, Kocabiyik A. Evaluation of the Association Between Plantar Fasciitis and Hallux Valgus. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2020;110(2)
4. Munuera-Martínez PV. *El primer radio: Biomecánica y ortopodología*. Exa Editores, SL; 2012.
5. Wilke J, Krause F, Vogt L, Banzer W. What is evidence-based about myofascial chains: a systematic review. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2016;97(3):454-461.
6. McKeon PO, Hertel J, Bramble D, Davis I. The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function. *British journal of sports medicine*. 2015;49(5):290-290.
7. Myers TW. *Vías anatómicas. Meridianos miofasciales para terapeutas manuales y del movimiento*. Elsevier España; 2014.
8. Nix SE, Vicenzino BT, Collins NJ, Smith MD. Gait parameters associated with hallux valgus: a systematic review. *J Foot Ankle Res*. 2013;6(1):1-12.
9. Zhang Y, Awrejcewicz J, Szymanowska O, et al. Effects of severe hallux valgus on metatarsal stress and the metatarsophalangeal loading during balanced standing: A finite element analysis. *Computers in biology and medicine*. 2018;97:1-7.
10. Resende RA, Deluzio KJ, Kirkwood RN, Hassan EA, Fonseca ST. Increased unilateral foot pronation affects lower limbs and pelvic biomechanics during walking. *Gait & posture*. 2015;41(2):395-401.
11. Keays SL, Newcombe P, Keays AC. Generalized joint hypermobility in siblings with anterior cruciate ligament injuries and matched unrelated healthy siblings. *Physiotherapy Research International*. 2020;25(2):e1826.
12. Becker J, Nakajima M, Wu WF. Factors Contributing to Medial Tibial Stress Syndrome in Runners: A Prospective Study. *Medicine and science in sports and exercise*. 2018;50(10):2092-2100.
13. Omae H, Ohsawa T, Hio N, et al. Hallux valgus deformity and postural sway: a cross-sectional study. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2021;22(1):1-6.
14. Santos AD, Prado-Rico JM, de Oliveira Cirino NT, Perracini MR. Are foot deformity and plantar sensitivity impairment associated with physical function of community-dwelling older adults? *Brazilian Journal of Physical Therapy*. 2021;
15. Kruschke C, Butcher HK. Evidence-based practice guideline: fall prevention for older adults. *Journal of gerontological nursing*. 2017;43(11):15-21.
16. McGuine TA, Greene JJ, Best T, Levenson G. Balance as a predictor of ankle injuries in high school basketball players. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2000;10(4):239-244.

17. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *The American journal of sports medicine*. 2005;33(4):492-501.
18. Hurn SE, Vicenzino B, Smith MD. Functional impairments characterizing mild, moderate, and severe hallux valgus. *Arthritis care & research*. 2015;67(1):80-88.
19. Çinar-Medeni Ö, Atalay Guzel N, Basar S. Mild hallux valgus angle affects single-limb postural stability in asymptomatic subjects. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*. 2016;29(1):117-121.
20. Bowker S, Terada M, Thomas AC, Pietrosimone BG, Hiller CE, Gribble PA. Neural Excitability and Joint Laxity in Chronic Ankle Instability, Coper, and Control Groups. *Journal of Athletic Training*. 2016;51(4):336-343. doi:10.4085/1062-6050-51.5.05
21. McVey ED, Palmieri RM, Docherty CL, Zinder SM, Ingersoll CD. Arthrogenic muscle inhibition in the leg muscles of subjects exhibiting functional ankle instability. *Foot & Ankle International*. 2005;26(12):1055-1061. doi:10.1177/107110070502601210
22. Palmieri-Smith RM, Hopkins JT, Brown TN. Peroneal activation deficits in persons with functional ankle instability. *The American Journal of Sports Medicine*. 2009;37(5):982-988. doi:10.1177/0363546508330147
23. DeJong AF, Koldenhoven RM, Hart JM, Hertel J. Gluteus medius dysfunction in females with chronic ankle instability is consistent at different walking speeds. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*. 2020;73:140-148. doi:10.1016/j.clinbiomech.2020.01.013
24. Rath ME, Stearne DJ, Walker CR, Cox JC. Effect of foot type on knee valgus, ground reaction force, and hip muscle activation in female soccer players. *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 2015;56(5):546-553.
25. Joseph M, Tiberio D, Baird JL, et al. Knee valgus during drop jumps in National Collegiate Athletic Association Division I female athletes: the effect of a medial post. *The American journal of sports medicine*. 2008;36(2):285-289.
26. Sadler S, Cassidy S, Peterson B, Spink M, Chuter V. Gluteus medius muscle function in people with and without low back pain: a systematic review. *BMC musculoskeletal disorders*. 2019;20(1):1-17.
27. Hertel J, Corbett RO. An updated model of chronic ankle instability. *Journal of athletic training*. 2019;54(6):572-588.
28. Nix S, Smith M, Vicenzino B. Prevalence of hallux valgus in the general population: a systematic review and meta-analysis. *J Foot Ankle Res*. 2010;3(1):21.
29. Piggott H. The natural history of hallux valgus in adolescence and early adult life. *The Journal of Bone and Joint Surgery British volume*. 1960;42(4):749-760.
30. Garrow AP, Papageorgiou A, Silman AJ, Thomas E, Jayson MI, Macfarlane GJ. The grading of hallux valgus: the Manchester Scale. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2001;91(2):74-78.
31. Menz HB, Fotoohabadi MR, Wee E, Spink MJ. Validity of self-assessment of hallux valgus using the Manchester scale. *BMC musculoskeletal disorders*. 2010;11(1):1-6.
32. Menz HB, Munteanu SE. Radiographic validation of the Manchester scale for the classification of hallux valgus deformity. *Rheumatology*. 2005;44(8):1061-1066.

33. Coşkun G, Talu B, Bek N, Bayramlar KY. Effects of hallux valgus deformity on rear foot position, pain, function, and quality of life of women. *Journal of physical therapy science*. 2016;28(3):781-787.
34. Okuda H, Juman S, Ueda A, Miki T, Shima M. Factors related to prevalence of hallux valgus in female university students: a cross-sectional study. *Journal of epidemiology*. 2014;24(3):200-208.
35. Coughlin MJ. Juvenile hallux valgus: etiology and treatment. *Foot & ankle international*. 1995;16(11):682-697.
36. Koller U, Willegger M, Windhager R, Wanivenhaus A, Trnka HJ, Schuh R. Plantar pressure characteristics in hallux valgus feet. *Journal of Orthopaedic Research*. 2014;32(12):1688-1693.
37. Mickle KJ, Munro BJ, Lord SR, Menz HB, Steele JR. Gait, balance and plantar pressures in older people with toe deformities. *Gait & posture*. July 2011;Volume 34(Issue 3):347-351.
38. Viseux FJF. The sensory role of the sole of the foot: Review and update on clinical perspectives. *Neurophysiologie Clinique = Clinical Neurophysiology*. 2020;50(1):55-68. doi:10.1016/j.neucli.2019.12.003
39. Flores DV, Mejía Gómez C, Fernández Hernando M, Davis MA, Pathria MN. Adult acquired flatfoot deformity: anatomy, biomechanics, staging, and imaging findings. *Radiographics*. 2019;39(5):1437-1460.
40. Abdalbary SA. Foot Mobilization and Exercise Program Combined with Toe Separator Improves Outcomes in Women with Moderate Hallux Valgus at 1-Year Follow-up: A Randomized Clinical Trial. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2018;108(6):478-486.
41. Tang SFT, Chen JT-N, Chen C-K, Tang AC-W. Effective conservative treatment for managing Painful Hallux valgus. *Medical Research Archives*. 2016;4(6)
42. Kaufmann G, Dammerer D, Heyenbrock F, Braitto M, Moertlbauer L, Liebensteiner M. Minimally invasive versus open chevron osteotomy for hallux valgus correction: a randomized controlled trial. *International orthopaedics*. 2019;43(2):343-350.
43. Glasoe WM. Treatment of progressive first metatarsophalangeal hallux valgus deformity: a biomechanically based muscle-strengthening approach. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*. 2016;46(7):596-605.
44. Akaras E, Guzel NA, Kafa N, Özdemir YA. The acute effects of two different rigid taping methods in patients with hallux valgus deformity. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*. 2020;33(1):91-98.
45. Reina M, Lafuente G, Munuera PV. Effect of custom-made foot orthoses in female hallux valgus after one-year follow up. *Prosthetics and orthotics international*. 2013;37(2):113-119.
46. Gur G, Ozkal O, Dilek B, Aksoy S, Bek N, Yakut Y. Effects of corrective taping on balance and gait in patients with hallux valgus. *Foot & ankle international*. 2017;38(5):532-540.

47. Souchard P. *Deformaciones morfológicas de la columna vertebral: Tratamiento fisioterapéutico en reeducación postural global RPG*. Elsevier España; 2016.
48. Lomas-Vega R, Garrido-Jaut MV, Rus A, del-Pino-Casado R. Effectiveness of global postural re-education for treatment of spinal disorders: a meta-analysis. *American journal of physical medicine & rehabilitation*. 2017;96(2):124-130.
49. Teodori RM, Negri JR, Cruz MC, Marques AP. Global Postural Re-education: a literature review. *Revista brasileira de fisioterapia (Sao Carlos (Sao Paulo, Brazil))*. May-Jun 2011;15(3):185-189. doi:S1413-35552011000300003 [pii]
50. Herzog MM, Kerr ZY, Marshall SW, Wikstrom EA. Epidemiology of ankle sprains and chronic ankle instability. *Journal of athletic training*. 2019;54(6):603-610.
51. Martin RL, Davenport TE, Fraser JJ, et al. Ankle Stability and Movement Coordination Impairments: Lateral Ankle Ligament Sprains Revision 2021: Clinical Practice Guidelines Linked to the International Classification of Functioning, Disability and Health From the Academy of Orthopaedic Physical Therapy of the American Physical Therapy Association. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2021;51(4):CPG1-CPG80.
52. Swenson DM, Collins CL, Fields SK, Comstock RD. Epidemiology of US high school sports-related ligamentous ankle injuries, 2005/06-2010/11. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*. 2013;23(3):190.
53. Doherty C, Delahunt E, Caulfield B, Hertel J, Ryan J, Bleakley C. The incidence and prevalence of ankle sprain injury: a systematic review and meta-analysis of prospective epidemiological studies. *Sports medicine*. 2014;44(1):123-140.
54. Waterman BR, Owens BD, Davey S, Zacchilli MA, Belmont PJ, Jr. The epidemiology of ankle sprains in the United States. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. Oct 6 2010;92(13):2279-2284. doi:10.2106/JBJS.I.01537 [doi]
55. Ekstrand J, Krutsch W, Spreco A, et al. Time before return to play for the most common injuries in professional football: a 16-year follow-up of the UEFA elite Club injury study. *British journal of sports medicine*. 2020;54(7):421-426.
56. Bielska IA, Wang X, Lee R, Johnson AP. The health economics of ankle and foot sprains and fractures: A systematic review of English-language published papers. Part 2: The direct and indirect costs of injury. *The Foot*. 2019;39:115-121.
57. Attenborough AS, Hiller CE, Smith RM, Stuelcken M, Greene A, Sinclair PJ. Chronic ankle instability in sporting populations. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. Nov 2014;44(11):1545-1556. doi:10.1007/s40279-014-0218-2 [doi]
58. Gribble PA, Bleakley CM, Caulfield BM, et al. Evidence review for the 2016 International Ankle Consortium consensus statement on the prevalence, impact and long-term consequences of lateral ankle sprains. *British journal of sports medicine*. 2016;50(24):1496-1505.
59. Gribble PA, Bleakley CM, Caulfield BM, et al. 2016 consensus statement of the International Ankle Consortium: prevalence, impact and long-term consequences of lateral ankle sprains. *British journal of sports medicine*. 2016;50(24):1493-1495.
60. Martin RL, Davenport TE, Paulseth S, et al. Ankle stability and movement coordination impairments: ankle ligament sprains: clinical practice guidelines linked to

the international classification of functioning, disability and health from the orthopaedic section of the American Physical Therapy Association. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2013;43(9):A1-A40.

61. Doherty C, Bleakley C, Hertel J, Caulfield B, Ryan J, Delahunt E. Recovery from a first-time lateral ankle sprain and the predictors of chronic ankle instability: a prospective cohort analysis. *The American journal of sports medicine*. 2016;44(4):995-1003.

62. Jain N, Murray D, Kemp S, Calder J. Frequency and trends in foot and ankle injuries within an English Premier League Football Club using a new impact factor of injury to identify a focus for injury prevention. *Foot and ankle surgery*. 2014;20(4):237-240.

63. Kemler E, Thijs KM, Badenbroek I, van de Port IG, Hoes AW, Backx FJ. Long-term prognosis of acute lateral ankle ligamentous sprains: high incidence of recurrences and residual symptoms. *Family practice*. 2016;33(6):596-600.

64. Roos KG, Kerr ZY, Mauntel TC, Djoko A, Dompier TP, Wikstrom EA. The epidemiology of lateral ligament complex ankle sprains in National Collegiate Athletic Association sports. *The American journal of sports medicine*. 2017;45(1):201-209.

65. Pasanen K, Ekola T, Vasankari T, et al. High ankle injury rate in adolescent basketball: A 3-year prospective follow-up study. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2017;27(6):643-649.

66. Gribble PA, Delahunt E, Bleakley C, et al. Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the International Ankle Consortium. *British journal of sports medicine*. Jul 2014;48(13):1014-1018. doi:10.1136/bjsports-2013-093175 [doi]

67. Davids K, Glazier P, Araujo D, Bartlett R. Movement systems as dynamical systems. *Sports medicine*. 2003;33(4):245-260.

68. Glazier PS, Davids K. Constraints on the complete optimization of human motion. *Sports Medicine*. 2009;39(1):15-28.

69. Balagué N, Torrents C, Hristovski R, Kelso J. Sport science integration: An evolutionary synthesis. *European Journal of Sport Science*. 2017;17(1):51-62.

70. Melzack R. Pain—an overview. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 1999;43(9):880-884.

71. Melzack R. Pain and the neuromatrix in the brain. *Journal of dental education*. 2001;65(12):1378-1382.

72. Hosseinian SHS, Aminzadeh B, Rezaeian A, Jarahi L, Naeini AK, Jangjui P. Diagnostic Value of Ultrasound in Ankle Sprain. *The Journal of foot and ankle surgery*. 2021;doi:10.1053/j.jfas.2021.08.008

73. Kim K-M, Kim J-S, Cruz-Díaz D, Ryu S, Kang M, Taube W. Changes in spinal and corticospinal excitability in patients with chronic ankle instability: a systematic review with meta-analysis. *Journal of clinical medicine*. 2019;8(7):1037.

74. Sedory EJ, McVey ED, Cross KM, Ingersoll CD, Hertel J. Arthrogenic Muscle Response of the Quadriceps and Hamstrings With Chronic Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*. 2007;42(3):355-360.

75. Terada M, Kosik KB, McCann RS, Gribble PA. Diaphragm Contractility in Individuals with Chronic Ankle Instability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2016;48(10):2040-2045. doi:10.1249/MSS.0000000000000994
76. Richmond TS, Amsterdam JD, Guo W, et al. The effect of post-injury depression on return to pre-injury function: a prospective cohort study. *Psychological Medicine*. 2009;39(10):1709-1720.
77. Wallwork SB, Bellan V, Catley MJ, Moseley GL. Neural representations and the cortical body matrix: implications for sports medicine and future directions. *British Journal of Sports Medicine*. 2016;50(16):990-996. doi:10.1136/bjsports-2015-095356
78. Ivanenko Y, Gurfinkel VS. Human Postural Control. *Frontiers in neuroscience*. 2018;12:171. doi:10.3389/fnins.2018.00171
79. Peterka RJ. Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of neurophysiology*. 2002;88(3):1097-1118.
80. Peterka RJ, Loughlin PJ. Dynamic regulation of sensorimotor integration in human postural control. *Journal of neurophysiology*. 2004;91(1):410-423.
81. Song K, Burcal CJ, Hertel J, Wikstrom EA. Increased Visual Use in Chronic Ankle Instability: A Meta-analysis. *Medicine and science in sports and exercise*. 2016;48(10):2046-2056.
82. Song K, Rhodes E, Wikstrom EA. Balance training does not alter reliance on visual information during static stance in those with chronic ankle instability: a systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*. 2018;48(4):893-905.
83. Hertel J. Sensorimotor deficits with ankle sprains and chronic ankle instability. *Clinics in sports medicine*. 2008;27(3):353-370.
84. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *Journal of spinal disorders*. 1992;5:383-383.
85. Wright CJ, Linens SW, Cain MS. A randomized controlled trial comparing rehabilitation efficacy in chronic ankle instability. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2017;26(4):238-249.
86. Smith BI, Docherty CL, Curtis D. Effects of Hip Strengthening on Neuromuscular Control, Hip Strength, and Self-Reported Functional Deficits in Individuals With Chronic Ankle Instability. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2017:1-23.
87. Cruz-Diaz D, Lomas-Vega R, Osuna-Pérez MC, Contreras FH, Martínez-Amat A. Effects of 6 weeks of balance training on chronic ankle instability in athletes: a randomized controlled trial. *International Journal of Sports Medicine*. 2015;36(09):754-760.
88. Kim K-M, Kim J-S, Grooms DR. Stroboscopic vision to induce sensory reweighting during postural control. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2017:1-11.
89. Willems T, Witvrouw E, Verstuyft J, Vaes P, De Clercq D. Proprioception and muscle strength in subjects with a history of ankle sprains and chronic instability. *Journal of athletic training*. 2002;37(4):487.
90. Docherty CL, McLeod TCV, Shultz SJ. Postural control deficits in participants with functional ankle instability as measured by the balance error scoring system. *Clinical journal of sport medicine*. 2006;16(3):203-208.

91. Smith TQ, Mitroff SR. Stroboscopic training enhances anticipatory timing. *International journal of exercise science*. 2012;5(4):344.
92. Ross SE, Arnold BL, Blackburn JT, Brown CN, Guskiewicz KM. Enhanced balance associated with coordination training with stochastic resonance stimulation in subjects with functional ankle instability: an experimental trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2007;4(1):1-8.
93. McKeon PO, Stein AJ, Ingersoll CD, Hertel J. Altered plantar-receptor stimulation impairs postural control in those with chronic ankle instability. *Journal of sport rehabilitation*. 2012;21(1):1-6.
94. Powden CJ, Hoch JM, Hoch MC. Rehabilitation and improvement of health-related quality-of-life detriments in individuals with chronic ankle instability: a meta-analysis. *Journal of athletic training*. 2017;52(8):753-765.
95. Fong DT-P, Hong Y, Chan L-K, Yung PS-H, Chan K-M. A systematic review on ankle injury and ankle sprain in sports. *Sports medicine*. 2007;37(1):73-94.
96. Hertel J. Functional Anatomy, Pathomechanics, and Pathophysiology of Lateral Ankle Instability. *Journal of athletic training*. Dec 2002;37(4):364-375.
97. McKeon PO, Ingersoll CD, Kerrigan DC, Saliba E, Bennett BC, Hertel J. Balance training improves function and postural control in those with chronic ankle instability. *Medicine & science in sports & exercise*. 2008;40(10):1810-1819.
98. Powden CJ, Hoch JM, Jamali BE, Hoch MC. A 4-week multimodal intervention for individuals with chronic ankle instability: examination of disease-oriented and patient-oriented outcomes. *Journal of athletic training*. 2019;54(4):384-396.
99. Clark JF, Ellis JK, Bench J, Khoury J, Graman P. High-performance vision training improves batting statistics for University of Cincinnati baseball players. *PloS one*. 2012;7(1):e29109.
100. González-Badillo JJ, Ribas J. Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. *Barcelona: Inde*. 2002;
101. Cruz-Díaz D. Inestabilidad crónica de tobillo: tratamiento mediante movilizaciones articulares y un programa de entrenamiento propioceptivo. Validación de la versión española del cuestionario "Cumberland Ankle Instability Tool". 2013;
102. Docherty CL, Moore JH, Arnold BL. Effects of strength training on strength development and joint position sense in functionally unstable ankles. *Journal of athletic training*. Oct 1998;33(4):310-314.
103. Schifftan GS, Ross LA, Hahne AJ. The effectiveness of proprioceptive training in preventing ankle sprains in sporting populations: a systematic review and meta-analysis. *Journal of science and medicine in sport*. May 2015;18(3):238-244. doi:10.1016/j.jsams.2014.04.005 [doi]
104. Luan L, Adams R, Witchalls J, Ganderton C, Han J. Does strength training for chronic ankle instability improve balance and patient-reported outcomes and by clinically detectable amounts? A systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy*. 2021;
105. Kosik KB, McCann RS, Terada M, Gribble PA. Therapeutic interventions for improving self-reported function in patients with chronic ankle instability: a systematic

- review. *British journal of sports medicine*. Jan 2017;51(2):105-112. doi:10.1136/bjsports-2016-096534 [doi]
106. Hall EA, Chomistek AK, Kingma JJ, Docherty CL. Balance-and strength-training protocols to improve chronic ankle instability deficits, part II: Assessing patient-reported outcome measures. *Journal of athletic training*. 2018;53(6):578-583.
107. Lazarou L, Kofotolis N, Pafis G, Kellis E. Effects of two proprioceptive training programs on ankle range of motion, pain, functional and balance performance in individuals with ankle sprain. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*. 2018;31(3):437-446.
108. Group C. CONSORT 2010 checklist of information to include when reporting a randomised trial. <http://www.consort-statement.org/>
109. du Plessis M, Zipfel B, Brantingham JW, et al. Manual and manipulative therapy compared to night splint for symptomatic hallux abducto valgus: an exploratory randomised clinical trial. *The Foot*. 2011;21(2):71-78.
110. Baydal-Bertomeu J, Guillem RBI, Soler-Gracia C, De Moya MP, Prat J, De Guzmán RB. Determinación de los patrones de comportamiento postural en población sana española. *Acta Otorrinolaringológica Española*. 2004;55(6):260-269.
111. Bauer C, Gröger I, Rupprecht R, Tibesku C, Gassmann K. Reliability of static posturography in elderly persons. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*. 2009;43(4):245-248.
112. Gribble PA, Hertel J, Plisky P. Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review. *Journal of athletic training*. 2012;47(3):339-357.
113. Powden CJ, Hoch JM, Hoch MC. Reliability and minimal detectable change of the weight-bearing lunge test: A systematic review. *Manual therapy*. Aug 2015;20(4):524-532. doi:10.1016/j.math.2015.01.004 [doi]
114. Powden CJ, Hogan KK, Wikstrom EA, Hoch MC. The Effect of 2 Forms of Talocrural Joint Traction on Dorsiflexion Range of Motion and Postural Control in Those With Chronic Ankle Instability. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2017;26(3):239-244.
115. Wright CJ, Arnold BL, Ross SE, Linens SW. Recalibration and validation of the Cumberland Ankle Instability Tool cutoff score for individuals with chronic ankle instability. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. Oct 2014;95(10):1853-1859. doi:10.1016/j.apmr.2014.04.017 [doi]
116. Carcia CR, Martin RL, Drouin JM. Validity of the Foot and Ankle Ability Measure in athletes with chronic ankle instability. *Journal of athletic training*. 2008;43(2):179-183.
117. McKeon PO, Fourchet F. Freeing the foot: integrating the foot core system into rehabilitation for lower extremity injuries. *Clinics in sports medicine*. 2015;34(2):347-361.
118. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd Edition. ed. Hillsdale, New Jersey: 12 Lawrence Erlbaum Associates Inc.: Lawrence Erlbaum; 1988.

119. Wikstrom EA, McKeon PO. Predicting balance improvements following STARS treatments in chronic ankle instability participants. *Journal of science and medicine in sport*. Apr 2017;20(4):356-361. doi:S1440-2440(16)30203-1 [pii]
120. Wikstrom EA, McKeon PO. Predicting Manual Therapy Treatment Success in Patients With Chronic Ankle Instability: Improving Self-Reported Function. *Journal of athletic training*. 2017;52(4):325-331.
121. Maurer C, Mergner T, Bolha B, Hlavacka F. Human balance control during cutaneous stimulation of the plantar soles. *Neuroscience letters*. 2001;302(1):45-48.
122. Lee D-R, Choi Y-E. Effects of a 6-week intrinsic foot muscle exercise program on the functions of intrinsic foot muscle and dynamic balance in patients with chronic ankle instability. *Journal of exercise rehabilitation*. 2019;15(5):709.
123. Lynn SK, Padilla RA, Tsang KK. Differences in static-and dynamic-balance task performance after 4 weeks of intrinsic-foot-muscle training: the short-foot exercise versus the towel-curl exercise. *Journal of sport rehabilitation*. 2012;21(4):327-333.
124. LeClaire JE, Wikstrom EA. Massage for postural control in individuals with chronic ankle instability. *Athletic Training & Sports Health Care*. 2012;4(5):213-219.
125. Cruz-Díaz D, Lomas Vega R, Osuna-Pérez MC, Hita-Contreras F, Martínez-Amat A. Effects of joint mobilization on chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *Disability and rehabilitation*. 2015;37(7):601-610.
126. McKeon PO, Wikstrom EA. Sensory-Targeted Ankle Rehabilitation Strategies for Chronic Ankle Instability. *Medicine and science in sports and exercise*. May 2016;48(5):776-784. doi:10.1249/MSS.0000000000000859 [doi]
127. Menz HB, Morris ME, Lord SR. Foot and ankle characteristics associated with impaired balance and functional ability in older people. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 2005;60(12):1546-1552.
128. Hoch MC, Andreatta RD, Mullineaux DR, et al. Two-week joint mobilization intervention improves self-reported function, range of motion, and dynamic balance in those with chronic ankle instability. *Journal of orthopaedic research*. 2012;30(11):1798-1804.
129. Schaefer JL, Sandrey MA. Effects of a 4-week dynamic-balance-training program supplemented with Graston instrument-assisted soft-tissue mobilization for chronic ankle instability. *Journal of sport rehabilitation*. 2012;21(4):313-326.
130. Hilgendorf JR, Vela LI, Gobert DV, Harter RA. Influence of vestibular–ocular reflex training on postural stability, dynamic visual acuity, and gaze stabilization in patients with chronic ankle instability. *Athletic Training & Sports Health Care*. 2012;4(5):220-229.
131. Ardakani MK, Wikstrom EA, Minoonejad H, Rajabi R, Sharifnezhad A. Hop-stabilization training and landing biomechanics in athletes with chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *Journal of athletic training*. 2019;54(12):1296-1303.
132. Kim K-M, Estudillo-Martínez MD, Castellote-Caballero Y, Estepa-Gallego A, Cruz-Díaz D. Short-Term Effects of Balance Training with Stroboscopic Vision for Patients with Chronic Ankle Instability: A Single-Blinded Randomized Controlled Trial. *International journal of environmental research and public health*. 2021;18(10):5364.

133. Hall EA, Docherty CL, Simon J, Kingma JJ, Klossner JC. Strength-training protocols to improve deficits in participants with chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *Journal of athletic training*. 2015;50(1):36-44.
134. Hoch MC, Staton GS, Medina McKeon JM, Mattacola CG, McKeon PO. Dorsiflexion and dynamic postural control deficits are present in those with chronic ankle instability. *Journal of science and medicine in sport*. Nov 2012;15(6):574-579. doi:10.1016/j.jsams.2012.02.009 [doi]
135. Shih Y-F, Yu H-T, Chen W-Y, Liao K-K, Lin H-C, Yang Y-R. The effect of additional joint mobilization on neuromuscular performance in individuals with functional ankle instability. *Physical Therapy in Sport*. 2018;30:22-28.
136. Gabriner ML, Houston MN, Kirby JL, Hoch MC. Contributing factors to star excursion balance test performance in individuals with chronic ankle instability. *Gait & posture*. 2015;41(4):912-916.
137. Vallandingham RA, Gaven SL, Powden CJ. Changes in dorsiflexion and dynamic postural control after mobilizations in individuals with chronic ankle instability: a systematic review and meta-analysis. *Journal of athletic training*. 2019;54(4):403-417.
138. Hall EA, Chomistek AK, Kingma JJ, Docherty CL. Balance-and strength-training protocols to improve chronic ankle instability deficits, part I: assessing clinical outcome measures. *Journal of athletic training*. 2018;53(6):568-577.
139. Terada M, Harkey MS, Wells AM, Pietrosimone BG, Gribble PA. The influence of ankle dorsiflexion and self-reported patient outcomes on dynamic postural control in participants with chronic ankle instability. *Gait & posture*. 2014;40(1):193-197.
140. Hiller CE, Refshauge KM, Bundy AC, Herbert RD, Kilbreath SL. The Cumberland ankle instability tool: a report of validity and reliability testing. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2006;87(9):1235-1241.
141. Kim K-J, Heo M. Effects of virtual reality programs on balance in functional ankle instability. *Journal of physical therapy science*. 2015;27(10):3097-3101.
142. Wright CJ, Linens SW, Cain MS. Establishing the Minimal Clinical Important Difference and Minimal Detectable Change for the Cumberland Ankle Instability Tool. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. Sep 2017;98(9):1806-1811. doi:S0003-9993(17)30033-3 [pii]
143. Hernández-Castillejo LE, Martínez Vizcaino V, Garrido-Miguel M, Cavero-Redondo I, Pozuelo-Carrascosa DP, Álvarez-Bueno C. Effectiveness of hallux valgus surgery on patient quality of life: a systematic review and meta-analysis. *Acta orthopaedica*. 2020;91(4):450-456.
144. Wilkins L, Appelbaum LG. An early review of stroboscopic visual training: Insights, challenges and accomplishments to guide future studies. *International Review of Sport and Exercise Psychology*. 2020;13(1):65-80.
145. Wilkins L, Gray R. Effects of stroboscopic visual training on visual attention, motion perception, and catching performance. *Perceptual and motor skills*. 2015;121(1):57-79.

ANEXOS

HOJA DE INFORMACIÓN

Título del estudio: Eficacia del entrenamiento neuromuscular en la inestabilidad crónica de tobillo.

Identificación de los investigadores responsables

Alejandro Estepa Gallego

David Cruz Díaz

Universidad de Jaén

Universidad de Jaén

Esta documentación ha sido elaborada conforme a las previsiones contenidas en la Ley General de Sanidad 14/1986, de 25 de Abril, la Ley Andaluza de Salud 2/1998, de 15 de Junio, y la Ley 41/2002, reguladora de los derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica, artículos 8, 9 y 10.

Concepto general de fisioterapia

La Fisioterapia tiene como fin más significativo restaurar las funciones físicas perdidas o deterioradas.

Consiste en el tratamiento de la persona para, mediante la evaluación de la misma, impedir, corregir, aliviar, limitar o disminuir la incapacidad física, alteración del movimiento, de la funcionalidad y de la postura, así como el tratamiento del dolor que se derive de dichos procesos, sean adquiridos, congénitos y/o debidos al envejecimiento.

Datos de la investigación

El motivo de nuestra investigación es disminuir los síntomas de la inestabilidad crónica de tobillo (dolor, sensación de bloqueo, disminución del equilibrio...).

Con este documento, los fisioterapeutas investigadores quieren hacerle conocer los motivos que mueven esta investigación, así como los beneficios que esta puede aportar, y pedir su autorización para formar parte de nuestro proyecto.

El estudio cuenta con el informe favorable del Comité de Bioética de la Universidad de Jaén.

Resumen del estudio

La inestabilidad crónica de tobillo es una patología bastante común entre las personas que alguna vez han sufrido un esguince de tobillo. Se define como la incapacidad de mantener la movilidad normal del tobillo, perdiendo el control del mismo en determinadas situaciones. Esto puede dar lugar a esguinces de repetición y a una sensación constante de inseguridad durante la realización de ciertas actividades de la vida diaria.

Cuando existe inestabilidad de tobillo, los síntomas que aparecen con más frecuencia son: dolor, falta de equilibrio, disminución de la fuerza y/o de la capacidad de activación muscular.

Realizaremos un entrenamiento consistente en una serie de ejercicios cuyo objetivo es mejorar los síntomas de inestabilidad de tobillo.

Las personas elegidas para participar en la investigación tendrán las edades comprendidas entre los 18 y 50 años incluidos que hayan tenido un episodio de esguince de tobillo hace 6 meses o más y que presenten síntomas de inestabilidad crónica de tobillo (medido con el test de Cumberland). Para ello tomaremos los datos de cada uno de los participantes con una serie de test que nos darán información sobre el estado del tobillo.

El estudio se llevará a cabo durante 12 semanas (a comenzar desde el primer día de entrenamiento), con una frecuencia de 2 veces por semana y una duración aproximada de 30 minutos por sesión. Se irá aumentando la dificultad de los ejercicios según se vaya avanzando en la investigación.

Toda la intervención será realizada por fisioterapeutas expertos que registrarán y valorarán las distintas sensaciones que pudieran aparecer, anotando qué participante la padece para poder realizar un análisis y decidir su importancia para determinar la continuación en la investigación.

Importancia del estudio

En caso de cumplirse nuestra hipótesis, es decir, que los participantes presenten menos sintomatología de inestabilidad de tobillo, habremos encontrado una manera fácil, simple y económica de disminuir la incidencia de esta común lesión.

Privacidad

La información transmitida a las personas participantes en la investigación cumple los requisitos que se contemplan en la legislación española en el ámbito de la investigación biomédica y la protección de datos de carácter personal:

- Ley Orgánica 15/1999, de Protección de Datos de Carácter Personal
- Ley 41/2002 básica reguladora de la autonomía del paciente y de derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica
- Ley 14/2007 de investigación biomédica.

Todos los participantes tienen derecho a la revocación del consentimiento y sus efectos, incluida la posibilidad de la destrucción o de la anonimización de la muestra y de que tales efectos no se extenderán a los datos resultantes de las investigaciones que ya se hayan llevado a cabo.

Hay posibilidad de contactar con los investigadores en caso de aparición de efecto adverso imprevisto.

Tienen el derecho a revocar el consentimiento en cualquier momento, sin perjuicio en su tratamiento.

Tienen derecho a decidir el destino de sus muestras y datos personales en caso de decidir retirarse del estudio.

Tienen derecho a que se vuelva a pedir su consentimiento si se desea utilizar la muestra o los datos en estudios posteriores.

Garantía de confidencialidad de la información obtenida, indicando la identidad de las personas que tendrán acceso a los datos de carácter personal del sujeto fuente.

Durante el estudio se registrarán únicamente aquellas lesiones que sean útiles para la toma de conclusiones: las de extremidades inferiores. Los datos tomados irán directamente al estadístico que se encargará de valorar si la intervención es significativa o no para validar nuestra hipótesis.

Posibilidad de abandonar el estudio

Así como formar parte de la investigación, abandonarla también es decisión del propio participante. En cualquier momento podrá dejar de formar parte del estudio. En ese caso, y si el paciente lo desea, todos los datos recogidos y valorados, no tomarán parte del estudio y, por lo tanto, no se tendrán en cuenta.

Efectos indeseables

Los mayores riesgos en la aplicación de la Fisioterapia se refieren a su incorrecta indicación y su mala ejecución. Por ello es fundamental que sea un profesional de la Fisioterapia debidamente acreditado quien la lleve a cabo.

Este programa de entrenamiento neuromuscular no tiene efectos adversos sobre el organismo. De hecho el entrenamiento neuromuscular es una técnica más de rehabilitación dentro del campo de la fisioterapia.

En cualquier caso, algunas consecuencias durante el desarrollo de los tratamientos pueden ser las siguientes:

Dolor: cabe la posibilidad de que, en las primeras sesiones de entrenamiento, aparezcan dolores musculares difusos, que no son más que las conocidas como "agujetas". Ese tipo de molestias desaparecen rápidamente en 2 – 3 días, por lo que no habría que preocuparse.

Mareo o vértigo: aunque son relativamente inusuales.

Fractura/lesión articular: en algunos casos, las deformidades o patologías como la osteoporosis pueden volver al paciente susceptible de lesión. En dichos casos, el fisioterapeuta actuará con cautela adicional según el caso.

CONTRAINDICACIONES GENERALES

Absolutas

- Tumores malignos.
- Cardiopatías descompensadas, endocarditis activas, hemopatías, tuberculosis.
- Bronquitis crónica descompensada.

- Trombosis o hemorragias activas.
- Osteogénesis imperfecta (enfermedad de los huesos de cristal).

Relativas

- Derrame sinovial, hemartros y heridas recientes de partes blandas.
- Epilépticos no controlados y síndromes coréicos.
- Hipertensión arterial y varices sin control médico.
- Enfermedades infecciosas.
- Estados febriles y/o de debilidad extrema.

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Título del estudio: Eficacia del entrenamiento neuromuscular en la inestabilidad crónica de tobillo.

Identificación de los investigadores responsables

Alejandro Estepa Gallego

David Cruz Díaz

Universidad de Jaén

Universidad de Jaén

Datos del participante/paciente

Apellidos, Nombre:

DNI:

A fecha ____ de _____ de 20 ____ declaro que:

1. Declaro que he leído la Hoja de Información al Participante sobre el estudio citado.
2. Se me ha entregado una copia de la Hoja de Información al Participante y una copia de este Consentimiento Informado, fechado y firmado. Se me han explicado las características y el objetivo del estudio y los posibles beneficios y riesgos del mismo.
3. He contado con el tiempo y la oportunidad para realizar preguntas y plantear las dudas que poseía. Todas las preguntas fueron respondidas a mi entera satisfacción.
4. Se me ha asegurado que se mantendrá la confidencialidad de mis datos.
5. El consentimiento lo otorgo de manera voluntaria y sé que soy libre de retirarme del estudio en cualquier momento del mismo, por cualquier razón y sin que tenga ningún efecto sobre mi tratamiento médico futuro.
6. Declaro haber facilitado de manera leal y verdadera los datos sobre el estado físico y de salud de mi persona que pudieran afectar al tratamiento que se me va a realizar.

DOY

NO DOY

Mi consentimiento para la participación en el estudio propuesto

DOY

NO DOY

Mi consentimiento para la anonimización de mis muestras

DOY

NO DOY

Mi consentimiento para la utilización de los datos obtenidos en el estudio (anonimizados) en futuras investigaciones.

Firmo por duplicado, quedándome con una copia

Fisioterapeuta

Participante

Nombre:

Nombre:

Nº colegiado:

DNI:

Firma

Firma



Universidad de Jaén

Vicerrectorado de Investigación

COMISIÓN DE ÉTICA

Tipo de actividad : Proyecto de tesis

Referencia: ABR.19/1.TES

Título de la actividad: Eficacia de la reeducación postural global en la corrección del Hallux Valgus. Ensayo clínico aleatorizado

Convocatoria y/o entidad a la que se presenta: Tesis doctoral

- **Solicitante :** Alejandro Estepa Gallego

Tipo de experimentación o actividad sometida a informe: Investigación en humanos

Informe que se emite : FAVORABLE

Observaciones:

Jaén, 29 de abril de 2019



Edo. Gustavo Reyes del Paso
Presidente de la Comisión de Ética

Vicerrectorado de Investigación



Universidad de Jaén

Vicerrectorado de Investigación

COMISIÓN DE ÉTICA

Tipo de actividad : TFM

Referencia: MAR.18/1.TFM

Título de la actividad: Eficacia del entrenamiento neuromuscular en la inestabilidad crónica de tobillo

Convocatoria y/o entidad a la que se presenta: TFM UJA

- Solicitante : Alejandro Estepa Gallego

Tipo de experimentación o actividad sometida a informe: Investigación en humanos

Informe que se emite : FAVORABLE

Observaciones:



Jaén, 16 de abril de 2018

Fdo. Gustavo Reyes del Paso
Presidente de la Comisión de Ética

Vicerrectorado de Investigación