



Programa de Doctorado en Deporte y Salud

**Valoración clínica, biomecánica y neuromuscular
del equilibrio en personas con fractura
bimaleolar de tobillo postcirugía**

Diana Salas Gómez

Director de la tesis

Dr. Francisco David Barbado Murillo

Codirector de la tesis

Dr. Pascual Sánchez-Juan

Universidad Miguel Hernández de Elche

Mayo 2022



La presente Tesis Doctoral, titulada “**Valoración clínica, biomecánica y neuromuscular del equilibrio en personas con fractura bimalleolar de tobillo postcirugía**” se presenta bajo la modalidad de **tesis convencional con el/los siguiente/s indicios de calidad:**

- Salas-Gómez D, Fernández-Gorgojo M, Sanchez-Juan P, Bercero EL, Isabel Perez-Núñez M, Barbado D. Quantifying balance deficit in people with ankle fracture six months after surgical intervention through the Y-Balance test. *Gait Posture*. 2020: S0966-6362(20)30628-7. doi: 10.1016/j.gaitpost.2020.10.037. Epub ahead of print. PMID: 33243522.
- Salas-Gómez D, Fernández-Gorgojo M, Sánchez-Juan P, Pérez-Núñez MI, Laguna-Bercero E, Prat-Luri A, et al. Measuring Recovery and Understanding Long-Term Deficits in Balance, Ankle Mobility and Hip Strength in People after an Open Reduction and Internal Fixation of Bimalleolar Fracture and Their Impact on Functionality: A 12-Month Longitudinal Study. *Journal of Clinical Medicine*. 2022;11(9):2539.



El Dr. *David Barbado Murillo*, director, y el Dr. *Pascual Sánchez-Juan*, codirector de la tesis doctoral titulada **“Valoración clínica, biomecánica y neuromuscular del equilibrio en personas con fractura bimalleolar de tobillo postcirugía”**

INFORMA/N:

Que Dña. Diana Salas Gómez ha realizado bajo nuestra supervisión el trabajo titulado **“Valoración clínica, biomecánica y neuromuscular del equilibrio en personas con fractura bimalleolar de tobillo postcirugía”** conforme a los términos y condiciones definidos en su Plan de Investigación y de acuerdo al Código de Buenas Prácticas de la Universidad Miguel Hernández de Elche, cumpliendo los objetivos previstos de forma satisfactoria para su defensa pública como tesis doctoral.

Lo que firmo/firmamos para los efectos oportunos, en Elche- Madrid a 3 de Mayo de 2022

Director/a de la tesis

Codirector/a de la tesis

Dr. *David Barbado*

Dr. *Pascual Sánchez-Juan*



El Dr. D. Francisco Javier Moreno Hernández, Coordinador del Programa de Doctorado en Deporte y Salud

INFORMA:

Que Dña. *Diana Salas Gómez* ha realizado bajo la supervisión de nuestro Programa de Doctorado el trabajo titulado “**Valoración clínica, biomecánica y neuromuscular del equilibrio en personas con fractura bimalleolar de tobillo postcirugía**” conforme a los términos y condiciones definidos en su Plan de Investigación y de acuerdo al Código de Buenas Prácticas de la Universidad Miguel Hernández de Elche, cumpliendo los objetivos previstos de forma satisfactoria para su defensa pública como tesis doctoral.

Lo que firmo para los efectos oportunos, en Elche a 3 de Mayo de 2022

Prof. Dr. D. Francisco Javier Moreno Hernández
Coordinador/a del Programa de Doctorado en Deporte y Salud

Agradecimientos

Por fin llegó el momento de escribir los agradecimientos. Me invade una mezcla de sentimientos que no sabría explicar con palabras. Sin duda este es importante camino el cual me ha supuesto mucho tiempo, esfuerzo, dedicación, momentos de frustración, alegrías, retos superados y mucho, muchísimo aprendizaje. Pero sin duda este camino hubiera sido imposible sin la ayuda y el apoyo de mucha gente a las cuales me gustaría darles mis agradecimientos.

En primer lugar, me gustaría agradecer a las escuelas universitarias Gimbernat (EUG) y a la escuela de fisioterapia Cantabria por confiar en mí y en mi trabajo y brindarme un entorno en el cual he crecido a nivel personal y profesional durante todos estos años. También me gustaría dar las gracias a la universidad Miguel Hernández de Elche por acogerme en su programa de doctorado de deporte y salud estos años.

Sin duda me gustaría agradecer profundamente a mis directores la labor que han realizado dirigiéndome la tesis. Gracias David Barbado y Pascual Sánchez-Juan por vuestro esfuerzo, dedicación, paciencia y ganas incansables de enseñarme y guiarme por este camino. Pascual de ti admiro la constancia, la exigencia, la implicación y el compromiso que tienes con tu trabajo. Gracias por contagiarme la pasión y la ilusión que pones en cada proyecto, y la gran humildad con la que realizas las cosas. Gracias por dejarme aprender de ti y formar parte de tu equipo. Y a ti David que te voy a decir... gracias por todo el tiempo que has dedicado a la dirección de mi tesis. Recuerdo tantísimos momentos y valoro muchísimo nuestras reuniones interminables.... Gracias por guiarme y no dejar que me desilusione. Gracias por hacerme ver las cosas que yo a veces no veía. Sobre todo, gracias por tus consejos, tu orientación y por dejarme aprender de ti. Espero que esto no sea el fin y podamos seguir colaborando juntos.

Quisiera dar mis agradecimientos de una forma especial a una persona que ha estado ahí conmigo desde los comienzos de este proyecto. Mi compañero de batallas, Mario Fernández. Juntos hemos vivido momentos inolvidables, hemos superado a lo largo de este tiempo todas las dificultades y los retos que se nos han presentado y espero que podamos seguir superándolos juntos. Estoy orgullosa de haber emprendido proyectos juntos y espero que sigamos soñando juntos y lo más importante, haciendo esos sueños realidad. Gracias por tu apoyo, por tus consejos, tus palabras y por compartir conmigo todos estos años en el campo de la investigación como mi compañero y mi amigo.

También me gustaría agradecer a la Unidad de Traumatología del Hospital Marqués de Valdecilla por colaborar en este proyecto en especial a la Dra. Maribel Pérez-Nuñez y a Esther Laguna.

Agradecerles también a mis compañeros de las escuelas universitarias Gimbernat-Cantabria por su ayuda, por participar en el proyecto, y por vuestro apoyo en especial a mis compañeros del servicio universitario de investigación Gimbernat-Cantabria (Nuria, Mario) con los que aprendo cada día y es un orgullo compartir momentos, experiencias, aprendizajes y proyectos con vosotros. Asimismo, agradecer enormemente a Vanesa Pérez su confianza depositada en mí todos estos años, por su apoyo y soporte continuo.

Por supuesto, me gustaría aprovechar estas líneas para poder agradecer a mis padres toda la dedicación y el cariño que me habéis dado siempre. Gracias por apoyarme incondicionalmente en todos los pasos que he dado en mi vida. Gracias por inculcarme los valores personales y principios que tengo y esforzaros para que hoy pudiera llegar a ser quien soy y estar donde estoy. A ti mamá, mi amiga, gracias por ser un ejemplo de superación y de esfuerzo. Me has enseñado a seguir hacia adelante siempre y a ser cada día un poco mejor que ayer. Gracias por haber sido tan generosos y dejarme ir para poder crecer, superarme y perseguir mis sueños. Gracias por estar ahí cuando yo no llegaba a todo sobre todo en estos últimos momentos de la tesis. Sin vosotros siento que nada de esto hubiera sido posible. Jamás podré devolveros todo lo que me habéis dado. ¡Os quiero!

Por supuesto también dar las gracias a mis hermanos, Clara, Jesús y Vanesa, que son un ejemplo para mí. Gracias porque siempre me habéis apoyado de una forma incondicional, me habéis cuidado, protegido y siempre me habéis respetado. Cada día aprendo de vosotros. Os quiero y os admiro. Tengo muchísima suerte de teneros en mi vida. Gracias por estar siempre conmigo y no dejar que caiga. Gracias por creer, confiar en mí y apoyarme mientras trabajaba por conseguir esta meta.

Y para nada se me olvidan mis amigos/as (Lourdes, Camilo, Saray, Vane, Luis, Tere, Guille, Manu,...). Mil gracias por aguantar mis ausencias estos años en los que estado sumergida en la tesis. ¡Intentaré compensar todos estos momentos, os lo prometo! Gracias por vuestro apoyo estos últimos años, pero además gracias por estar siempre, incluso en los momentos más complicados de mi vida. Gracias por vuestros consejos, gracias por entenderme, respetarme, escucharme, creer en mí y dejarme el espacio que a veces necesito. Gracias por sacarme una sonrisa cuando lo necesitaba y por recordarme que también hay que divertirse y gracias por estar ahí en esos momentos en que me sentía agobiada.

También me gustaría extender mi agradecimiento hacia aquellas personas que me dieron una primera oportunidad, creyeron y confiaron en mi trabajo cuando cabe la carrera en la escuela universitaria Gimbernat-Barcelona. En especial a Ricard, Pedro, Marta, Carles, Enric.... Gracias por ser mis profesores y luego mis compañeros. Gracias por todos los conocimientos que me habéis inculcado, por contagiarme la pasión por mi profesión y la inquietud por aprender cosas nuevas.

Y obviamente no puedo olvidarme de dar mi más sincero agradecimiento a todas las pacientes, compañeros y personas que han participado de una forma desinteresada para que este proyecto haya sido posible.

Además, agradecer a todas aquellas personas que de una forma u otra me han ayudado y han hecho posible que hoy este dónde estoy.

“A mi familia”

“Nunca sabes lo fuerte que eres hasta que ser fuerte es tu única opción”

*Muchos de nuestros sueños parecen imposibles al principio,
luego pueden parecer improbables y, después,
cuando nos comprometemos firmemente, se vuelven inevitables.*

“Christopher Reeve”

*Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor,
la electricidad y la energía atómica: la voluntad.*

“Albert Einstein”

*La mente que se abre ante una nueva idea,
jamás volverá a su tamaño original.*

“Albert Einstein”

*La tragedia en la vida no consiste en no alcanzar tus metas,
sino en no tener metas que alcanzar.*

“Benjamin E. Mays”

ÍNDICE

Contenidos	Pág. 12-14
- Glosario de abreviaturas	Pág. 15-17
- Índice de figuras y tablas	Pág. 18-21
- Resumen de la tesis	Pág. 23-27

Capítulo 1: Introducción general

1.1 Definición y epidemiología de las fracturas de tobillo	Pág. 29-31
1.2 Clasificación de las fracturas	Pág. 32-36
1.3 Tratamiento quirúrgico de las fracturas de tobillo	Pág. 36-38
1.4 Consecuencias tras una fractura de tobillo	Pág. 38-42
1.5 Rehabilitación de las fracturas de tobillo	Pág. 42
1.6 Planteamiento del problema de investigación	Pág. 43-45

Capítulo 2: Objetivos de investigación e hipótesis

2.1 Objetivos generales	Pág. 47-49
2.2 Objetivos específicos	Pág. 50-51
2.3 Hipótesis de investigación	Pág. 52-56

Capítulo 3: Trabajo 1

Cuantificando los déficits de equilibrio en personas con fractura bimalleolar de tobillo a los 6 meses después de la intervención quirúrgica mediante el Y-balance test

3.1 Introducción	Pág. 58-61
3.2 Método	
3.2.1 Participantes	Pág. 61-63
3.2.2 Procedimiento	Pág. 63-66
3.2.3 Análisis estadístico	Pág. 67-68
3.2.4 Resultados	Pág. 68-71
3.3 Discusión	

3.4	Fiabilidad del Y-balance test	Pág. 71-72
3.5	La afectación en el equilibrio de la extremidad operada	Pág. 72-73

Capítulo 4. Trabajo 2

Comprendiendo los déficits de equilibrio, de la flexión dorsal del tobillo y de la fuerza de la cadera a largo plazo en personas con fractura bimalleolar de tobillo y su impacto en la funcionalidad

4.1	Introducción	Pág. 75-79
4.2	Método	
4.2.1	Participantes	Pág. 79-80
4.2.2	Procedimiento experimental	Pág. 80-89
4.2.3	Reducción de datos	Pág. 90-91
4.2.4	Análisis estadístico	Pág. 91-93
4.3	Resultados	Pág. 93-107
4.4	Discusión	
4.4.1	Progresión y restablecimiento del equilibrio, del rango de movimiento del tobillo y de la fuerza de la cadera de los 6 a los 12 meses después de la cirugía	Pág. 109-110
4.4.2	Análisis correlacional	Pág. 110-111
4.4.3	Análisis del peso relativo	Pág. 111-113

Capítulo 5. Trabajo 3

Cambios en la estrategia motora y control neuromuscular durante las tareas de equilibrio en personas con fractura bimalleolar de tobillo

5.1	Introducción	Pág. 115-117
5.2	Método	
5.2.1	Participantes	Pág. 118
5.2.2	Procedimiento experimental	Pág. 118-122
5.2.3	Reducción de datos y análisis de la señal de electromiografía (EMG)	Pág. 122-123
5.2.4	Análisis estadístico	Pág. 123-124
5.3	Resultados	Pág. 124-139
5.4	Discusión	
5.4.1	Control neuromuscular en el equilibrio estático	Pág. 139-141
5.4.2	Control neuromuscular en el equilibrio dinámico	Pág. 141-143
5.4.3	Comportamiento muscular entre las direcciones del YBT y su relación con los parámetros musculoesqueléticos	Pág. 144-145

Capítulo 6. Epílogo

6.1	Conclusiones	Pág. 147-148
6.1.1	Contribuciones de la tesis y aplicación clínica	Pág. 149-152
6.2	Limitaciones de la tesis e investigaciones futuras	Pág. 153-155
	Referencias	Pág. 157-183
	Anexos	Pág. 185-220

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

Generales

- 44A: Fracturas infrasindesmales
- 44B: Fracturas transindesmales
- 44C: Fracturas suprasindesmales
- AOFAS: American Orthopaedic Foot and Ankle Society
- AOFAS_{AH}: American Orthopaedic Foot and Ankle Society, Ankle-Hindfoot score
- EMG: Electromiografía de superficie
- GC: Grupo control
- HUMV: Hospital Universitario Marqués de Valdecilla
- JOT: Journal of Orthopaedic Trauma
- OA-OTA: Fondation OA/ American Orthopaedic Foot and Ankle Society
- OMAS: Olerud Molander Ankle Score
- PcFT: Personas con fractura de tobillo
- PROMs: Medidas de resultado informadas por el paciente
- RAFI: Reducción abierta y la fijación interna
- T_O: Tobillo operado del grupo de personas con fractura de tobillo
- T_s: Tobillo sano o no operado del grupo de personas con fractura de tobillo

Movimiento

- FDT_{ROM}: Rango de movimiento de flexión dorsal del tobillo
- ROM: Rango de movimiento

Fuerza

- ABD: Musculatura abductora de la cadera
- ADD: Musculatura aductora de la cadera

Equilibrio dinámico

- SEBT: Star Excursion Balance Test
- YBT: Y- Balance test
- YBT_A: Y- Balance test dirección anterior
- YBT_{CS}: Y- Balance test puntuación compuesta (*composite score*)
- YBT_{PL}: Y- Balance test dirección posterolateral
- YBT_{PM}: Y- Balance test dirección posteromedial

Equilibrio estático

- CoP: Centro de presiones
- DIS_{CoP}: Trayectoria máxima de recorrido del CoP
- LFS: longitud en función a las dimensiones de la superficie
- TOA_{TO}: Postura de equilibrio en tándem con ojos abiertos con el tobillo operado colocado detrás de su tobillo no operado
- TOA_{TS}: Postura de equilibrio en tándem con ojos abiertos con el tobillo no operado colocado detrás de su tobillo operado
- UOA_{TO}: Postura de equilibrio en apoyo unipodal con los ojos abiertos con el tobillo operado
- UOA_{TS}: Postura de equilibrio en apoyo unipodal con los ojos abiertos con el tobillo no operado
- UOC_{TO}: Postura de equilibrio en apoyo unipodal con los ojos cerrados con el tobillo operado
- UOC_{TS}: Postura de equilibrio en apoyo unipodal con los ojos cerrados con el tobillo no operado
- V_{CoP}: Velocidad media del CoP

Estadísticas

- ANOVA: Análisis de la varianza
- g: G de Hedges
- ICC: Coeficiente de correlación intraclase (por sus siglas en inglés)
- IC: Intervalo de confianza

- MDC: Cambio mínimo detectable (por sus siglas en inglés)
- RWA: Análisis de peso relativo (por sus siglas en inglés)
- SEM: Error estándar de medición (por sus siglas en inglés)

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figuras

- **Figura 1.** Tipos de fracturas según los grupos OA-OTA. De izquierda a derecha: 44A: fracturas infrasindesmales; 44B fracturas transindesmales y 44C fracturas suprasindesmales. *Reproducido con permiso de la AO Foundation.* " Copyright by AO Foundation, Switzerland". (2018). *AO/OTA Fracture and Dislocation Classification [Ilustración].* En <https://classification.aoeducation.org/>. *Meinberg et al. Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018. J Orthop Trauma. 2018 Jan;32 Suppl 1: S1-S170*
- **Figura 2.** Grupos de las fracturas tipo 44A (infrasin-desmales): 44A1; lesión aislada del peroné, 44A2; lesión del peroné y una fractura del maléolo medial y 44A3; una lesión del peroné y una fractura posteromedial. *Reproducido con permiso de la AO Foundation.* " Copyright by AO Foundation, Switzerland". (2018). *AO/OTA Fracture and Dislocation Classification [Ilustración].* En <https://classification.aoeducation.org/>
- **Figura 3.** Grupos de las fracturas tipo 44B (transindesmales): 44B1; fractura simple del peroné, 44B2; fractura transindesmal del peroné con lesión medial y 44B3; fractura transindesmal del peroné con lesión medial y fractura del reborde posterolateral (fractura de Volkmann). *Reproducido con permiso de la AO Foundation.* " Copyright by AO Foundation, Switzerland". (2018). *AO/OTA Fracture and Dislocation Classification [Ilustración].* En <https://classification.aoeducation.org/>
- **Figura 4.** Grupos de las fracturas tipo 44C (suprasindesmales): 44C1; fractura simple de la diáfisis del peroné, 44C2; fractura del peroné en cuña o multifragmentario y 44C3; lesión proximal del peroné. *Reproducido con permiso de la AO Foundation.* " Copyright by AO Foundation, Switzerland". (2018). *AO/OTA Fracture and Dislocation Classification [Ilustración].* En <https://classification.aoeducation.org/>
- **Figura 5. Caso clínico:** Varón de 35 años. No fumador ni otros hábitos tóxicos, ningún antecedente médico (no presenta diabetes ni arteriopatía, no toma corticoides). **Clasificación de la fractura de tobillo:** 44B3: fractura transindesmal del peroné, con lesión medial y fractura arrancamiento de Volkmann (fractura del reborde posterolateral). **Mecanismo lesional:** supinación-rotación externa. * **Imágenes radiográficas preoperatorias.** * *Imagen cedida por la Unidad de traumatología del Hospital Universitario Marqués de Valdecilla, Universidad de Cantabria (UC)*

- **Figura 6. Caso clínico anterior.** Días desde la fractura a la intervención: 1 día; **imagen A:** post-reducción de la fractura; **B, C:** postcirugía, RAFI (reducción abierta con fijación interna) con un tornillo interfragmentario y placa LCP de 3.5 de tercio de caña (con tornillo suprasindesmal a través de la placa). Abordaje medial: sutura ligamento deltoideo. Pauta postquirúrgica: inmovilización 3 semanas con férula a 90°. Movilización activa y descarga hasta la sexta semana. Carga progresiva. **C:** retirada del tornillo suprasindesmal a las 16 semanas. No existencia de complicaciones postquirúrgicas. * *Imagen cedida por la Unidad de traumatología del Hospital Universitario Marqués de Valdecilla, Universidad de Cantabria (UC).*, Universidad de Cantabria (UC)
- **Figura 7. Protocolo de la medición de la longitud de la extremidad inferior**
- **Figura 8. Y-Balance Test Kit, Move2Perform, Evansville, IN, USA).** Arriba a la izquierda se observan los componentes del test; arriba a la derecha se observan los tubos del YBT en sus tres direcciones; abajo se observa la ejecución del test por un sujeto sano (como se desplaza la placa de alcance) en la dirección anterior
- **Figura 9. Protocolo de la medición de los perímetros.** A la izquierda la medición del perímetro bimalleolar y a la derecha la medición del perímetro de la pantorrilla.
- **Figura 10. Protocolo de evaluación del rango de movimiento de la flexión dorsal de tobillo.** A la izquierda: un inclinómetro digital (Acumar, Lafayette Instrument, Lagatette, IN, USA); a la derecha: posición de “Weight Bearing Lunge” (WBL) con la rodilla flexionada en la que se tomó el dato del rango de flexión dorsal de tobillo
- **Figura 11. Protocolo de evaluación de la fuerza muscular de los abductores y aductores de la cadera.** Arriba: Dinamómetro de mano (microFET@2, Hoggan Scientific L.L.C, Salt Lake City, EEUU.); A la izquierda: evaluación de los aductores de la cadera; a la derecha: evaluación de los abductores de la cadera
- **Figura 12. Protocolo de evaluación del equilibrio estático.** Arriba: plataforma de presión (P-Walk®, BTS Bioengineering, Milán, Italia); abajo a la izquierda: posición de equilibrio en apoyo unipodal con los ojos abiertos o cerrados; a la derecha: posición en tándem
- **Figura 13. Protocolo de evaluación el equilibrio dinámico mediante el Y-Balance test.** De izquierda derecha: A. dirección anterior (YBT_A); B. dirección posterolateral del test (YBT_{PL}); C. dirección posteromedial del test (YBT_{PM})
- **Figura 14.** Toma de las variables estabilométricas a través del software “G-estudio” (BTS Bioengineering)

- **Figura 15.** Regresión lineal de las variables predictoras (FDT_{ROM} , fuerza de los abductores y de los aductores de cadera) en el YBT_A y el $AOFAS_{AH}$ en su dominio que evalúa la función
- **Figura 16. Colocación del EMG.** **A:** sensor en el bíceps femoral y en el gastrocnemio lateral; **B:** vista lateral del sensor en el bíceps femoral; **C:** sensor en el vasto medial oblicuo del cuádriceps; **D:** sensor del tibial anterior; **E:** de izquierda a derecha (tibial anterior, peroneo lateral, gastrocnemio lateral); **F:** vista posterior del sensor del gastrocnemio lateral
- **Figura 17.** Activación muscular (distal vs proximal) durante las pruebas de equilibrio estático a los 6 meses después de la cirugía
- **Figura 18.** Activación muscular (distal vs proximal) durante las pruebas de equilibrio estático a los 12 meses después de la cirugía
- **Figura 19.** Activación muscular durante el Y-Balance test (distal vs proximal) a los 6 meses después de la cirugía. Y-Balance test en la dirección anterior: ANOVA factor interacción ($F=30.806$ ($p < 0.001$)); Y-Balance test en la dirección posteromedial: ANOVA factor interacción ($F=4.121$ ($p=0.065$))
- **Figura 20.** Activación muscular durante el Y-Balance test (distal vs proximal) a los 6 meses después de la cirugía. No existe factor interacción en ninguna de las direcciones del test

Tablas

- **Tabla 1.** Características sociodemográficas, antropométricas y estado funcional del tobillo de las personas con fractura de tobillo
- **Tabla 2.** Descriptivos (Media \pm SD) y fiabilidad intra-sesión test-retest del YBT en personas tras una fractura bimalleolar de tobillo 6 meses después de la cirugía
- **Tabla 3.** Diferencias en el YBT entre la extremidad operada y la no operada de personas tras una fractura bimalleolar de tobillo, 6 meses después de la cirugía
- **Tabla 4.** Características basales de las personas con fracturas bimalleolares de tobillo a los 6 meses de la cirugía y del grupo de control
- **Tabla 5.** AOFAS Ankle-Hindfoot score y OMAS en las evaluaciones de 6 y 12 meses después de la cirugía
- **Tabla 6.** Equilibrio estático en las evaluaciones de 6 y 12 meses después de la cirugía
- **Tabla 7.** Y-Balance Test en las evaluaciones de 6 y 12 meses después de la cirugía

- **Tabla 8.** ROM de flexión dorsal del tobillo, fuerza de la cadera, perímetros de la pantorrilla y bimalleolar en las evaluaciones de 6 y 12 meses después de la cirugía
- **Tabla 9.** Correlaciones entre los parámetros evaluados a los 6 meses (de izquierda a derecha, color: gris claro) y a los 12 meses (de arriba a abajo, color: blanco) después de la cirugía
- **Tabla 10.** Varianza explicada (% , R² ajustada) hallada mediante el “análisis del peso relativo” de distintos factores valorados a los 6 meses después de la cirugía en personas con fractura bimalleolar de tobillo y de diversas variables clínicas sobre los resultados mostrados en el YBT, en los cuestionarios AOFAS_{AH} y OMAS y en el FDT_{ROM} a los 12 meses después de la cirugía
- **Tabla 11.** Características basales de las personas con fracturas bimalleolares de tobillo a los 6 meses de la cirugía
- **Tabla 12.** Actividad muscular de los 6 músculos en la extremidad operada y la no operada durante la estabilometría a los 6 meses después de la cirugía
- **Tabla 13.** Actividad muscular de los 12 músculos en la extremidad operada y en la no operada durante las pruebas de estabilometría a los 12 meses después de la cirugía
- **Tabla 14.** Actividad muscular de los 6 músculos en la extremidad operada y no operada durante el Y-balance test a los 6 meses después de la cirugía
- **Tabla 15.** Actividad muscular de los 6 músculos en la extremidad operada y la no operada durante el Y-balance test a los 12 meses después de la cirugía.
- **Tabla 16.** Correlaciones entre el YBT y la actividad muscular de la articulación del tobillo y de la cadera de la extremidad operada a los 6 meses y a los 12 meses después de la cirugía
- **Tabla 17.** Correlaciones entre el YBT y la actividad muscular de la articulación del tobillo y de la cadera de la extremidad no operada a los 6 meses y a los 12 meses después de la cirugía



RESUMEN

RESUMEN DE LA TESIS

Las fracturas de tobillo tienen una alta incidencia y representan un problema de salud pública. Es frecuente que después de la cirugía varias capacidades físicas se vean afectadas, tales como el rango de movimiento de tobillo (ROM), la fuerza o el equilibrio entre otras. Esto hace que la independencia funcional de la persona se vea limitada, teniendo un impacto negativo en su calidad de vida. Uno de los factores más limitantes para la capacidad funcional es la afectación del equilibrio. Además, los déficits de equilibrio se han relacionado con algunos factores como pueden ser la limitación del ROM de la flexión dorsal del tobillo (FDT_{ROM}) o la reducción de la fuerza de la musculatura de la cadera. A pesar de su elevada incidencia, existen pocos estudios a largo plazo en esta población, no estando claro hasta qué punto el deterioro de estas capacidades persiste en el tiempo después de la cirugía y hasta qué punto influyen en la recuperación de la capacidad funcional. Por todo lo expuesto anteriormente, se planteó un estudio longitudinal en el que se realizó un seguimiento a personas operadas tras fracturas maleolares de tobillo hasta un año después de la cirugía. Los objetivos generales que se plantearon en esta tesis fueron:

- 1) Desarrollar protocolos válidos y fiables para la evaluación del equilibrio para el uso clínico.
- 2) Cuantificar de una manera fiable y evaluar la evolución de los déficits de equilibrio, así como de otros parámetros como son el FDT_{ROM} , la fuerza de la musculatura de la cadera y algunos parámetros antropométricos (perímetro bimalleolar o el de la pantorrilla).
- 3) Describir y evaluar el patrón neuromuscular y las estrategias motoras durante las pruebas que valoran el equilibrio, en esta población.
- 4) Analizar que variables mecánicas, electromiográficas y clínicas están relacionadas con un mayor grado de funcionalidad del tobillo.

De este estudio se extraen 3 trabajos los cuales nos han permitido cumplir los objetivos propuestos. En el primer trabajo se analizó la fiabilidad de una herramienta (Y-Balance test) para cuantificar los déficits de equilibrio dinámico a los 6 meses después de la cirugía con el objetivo de proporcionar una herramienta válida y fácil de usar para supervisar la

recuperación del equilibrio dinámico que pueda ser usada en el ámbito profesional e investigador. En el segundo trabajo se evaluó la evolución del equilibrio estático (plataforma de presiones) y el dinámico (YBT), del FDT_{ROM} (inclinómetro) y de la fuerza de la musculatura abductora y aductora de cadera (dinamómetro de mano) a los 6 y 12 meses después de la cirugía en esta población y se comparó con un grupo de sujetos sanos. Además, se evaluó la evolución funcional de los pacientes a través de cuestionarios (PROM's e instrumentos mixtos; clinical rating). Asimismo, se exploró la relación entre las habilidades físicas y las variables clínicas, con los cuestionarios de funcionalidad del tobillo. Finalmente, en el tercer trabajo se evaluó mediante electromiografía la estrategia motora y el control neuromuscular de la extremidad inferior en las tareas de equilibrio. Finalmente, se evaluó si existía relación entre el patrón neuromuscular, los déficits de equilibrio y los déficits musculoesqueléticos detectados en esta población.

Resultados

Los principales resultados de esta tesis son:

Un total de 21 personas operadas tras una fractura maleolar de tobillo finalizaron el estudio. Todas las fracturas fueron bimalleolares. El Y-Balance test (YBT) mostró una fiabilidad relativa y absoluta intra-sesión de alta a excelente en ambas extremidades inferiores ($0.84 \leq ICC \leq 0.96$) y unos valores de SEM por debajo del 3.3%.

En general las personas operadas tras una fractura bimalleolar de tobillo mostraron un peor equilibrio estático y dinámico a los 6 meses. A los 12 meses después de la cirugía el YBT realizado en la dirección anterior (YBT_A) reveló los déficits de equilibrio más significativos en la extremidad operada en comparación con la no operada y con el grupo de control. También mostraron déficits de equilibrio estático en la postura de equilibrio en apoyo unipodal con los ojos cerrados respecto a sujetos sanos. Asimismo, las personas operadas con una fractura bimalleolar de tobillo aún presentaron una limitación del FDT_{ROM} en comparación con la extremidad no operada y con el grupo control un año después de la cirugía. Por otro lado, a los 6 meses después de la cirugía las personas con fractura bimalleolar de tobillo mostraron déficits de fuerza en la musculatura abductora de la cadera respecto a su extremidad no operada y respecto al grupo control, sin embargo, a los 12 meses no hubo déficits de fuerza. En ambas evaluaciones una menor distancia alcanzada en YBT_A se asoció significativamente con un menor FDT_{ROM} y con una menor fuerza de la cadera. A su vez, el YBT_A, el FDT_{ROM} y la fuerza de la cadera de las personas

con fractura bimalleolar de tobillo se asociaron con mejores puntuaciones de los cuestionarios de funcionalidad. Asimismo, FDT_{ROM} y la fuerza de la cadera a los 6 meses explicaron entre el 35% y el 63% de la varianza del YBT_A y de las puntuaciones de los cuestionarios a los 12 meses.

Con relación al patrón neuromuscular, a los 6 meses se detectó un efecto interacción significativo (i.e., interacción pierna - musculatura distal (tobillo) /proximal (cadera) mostrando una estrategia motora diferente en cada extremidad inferior para realizar el YBT_A . Concretamente, se observó una predominancia en la activación de la musculatura de la cadera en relación al tobillo cuando la tarea de equilibrio se realizó sobre la extremidad operada (apoyo). A los 12 meses, también se detectó una mayor activación de la musculatura del tobillo en la extremidad operada respecto a la no operada en prueba de equilibrio estático en apoyo unipodal con los ojos cerrados. Además, una limitación de FDT_{ROM} se asoció con una mayor activación de la musculatura del tobillo en las tareas de equilibrio dinámicas.

Conclusiones:

Las principales conclusiones de estas tesis son:

La batería de test para evaluar el equilibrio estático y dinámico implementadas mostraron ser unas herramientas sensibles y válidas para detectar déficits de equilibrio en esta población. A los 12 meses después de la cirugía las personas con fractura bimalleolar de tobillo aún muestran déficits de equilibrio dinámico y estático en tareas con alta demandas como el YBT en la dirección anterior y la tarea de equilibrio en apoyo unipodal con los ojos cerrados.

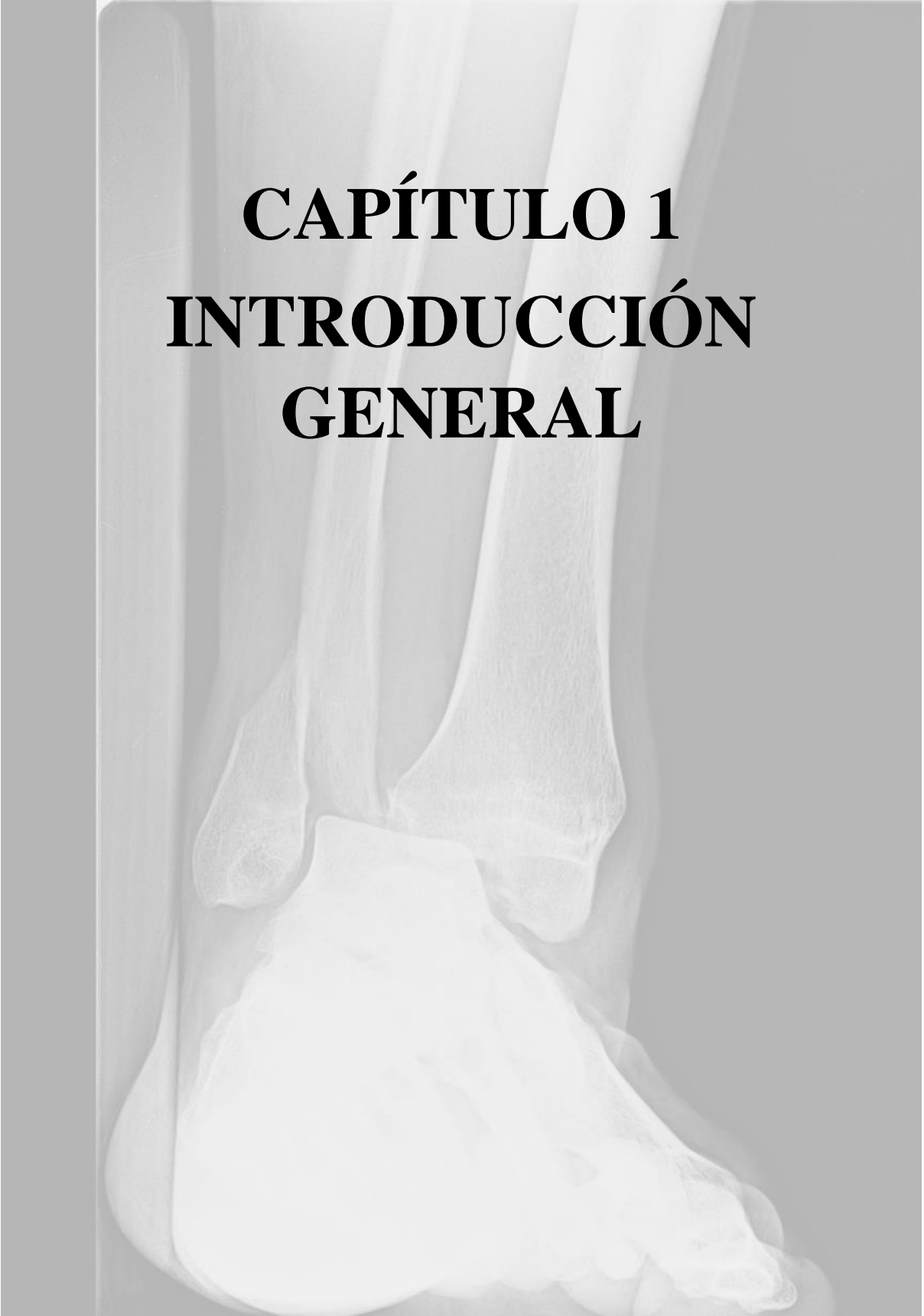
Asimismo, durante la realización del YBT_A , nuestra muestra de las personas con fractura bimalleolar de tobillo parecen desarrollar una estrategia motora compensatoria la cual requiere de un mayor reclutamiento de la musculatura proximal (cadera) para realizar el YBT_A .

Los déficits de fuerza y de movilidad detectados a los 6 meses evolucionaron favorablemente en nuestra muestra, sin embargo, las personas con fractura bimalleolar de tobillo aún presentaban una limitación de la flexión dorsal un año después de la cirugía.

El equilibrio, la fuerza de la cadera y el rango de movimiento de flexión dorsal del tobillo parecen ser índices fiables para evaluar el estado funcional de las personas con fractura bimalleolar de tobillo después de la cirugía.

La movilidad del tobillo y la fuerza de la cadera parecen factores importantes que se deben tener en cuenta a la hora de abordar los déficits de equilibrio y mejorar la funcionalidad de las personas con fractura bimalleolar de tobillo después de la cirugía. Asimismo, parece importante mejorar la amplitud de movimiento de flexión dorsal del tobillo para normalizar la actividad neuromuscular entre las extremidades inferiores en tareas dinámicas.

En base a los resultados de esta tesis parece importante que futuros estudios con una mayor muestra profundicen en los factores que pueden tener un impacto en los déficits de equilibrio en esta población. Además, futuros ensayos clínicos deben evaluar el impacto de las variables estudiadas en esta tesis en el equilibrio y en la funcionalidad, así como si ello conlleva una recuperación más temprana. Finalmente, se propone el uso de estas herramientas de valoración en un ámbito clínico.



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

GENERAL

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. Definición y epidemiología de las fracturas de tobillo

Las fracturas de tobillo son una de las patologías traumáticas más frecuentes que manejan los equipos de ortopedia y conllevan un alto impacto socioeconómico (O'Hara et al., 2020; McPhail et al., 2012). Además, se estima que representan la tercera fractura más frecuente en la edad adulta (Koujan & Saber, 2020). Los estudios que han analizado la incidencia de las fracturas en la población (Court-Brown & Caesar, 2006; Juto et al., 2018; Shibuya et al., 2014) han observado un aumento de la misma en las últimas décadas, la cual se estima que seguirá creciendo durante los próximos años (Court-Brown & Caesar, 2006; Juto et al., 2018; Shibuya et al., 2014). Asimismo, se ha observado un cambio en la distribución en la población afectada. Durante los años 1970-1980 la gran mayoría de las fracturas tratadas se daban en gente joven (Court-Brown & Caesar, 2006; Juto et al., 2018). Sin embargo, es un hecho constatable que la población mundial está sufriendo un envejecimiento, quizás por ello la incidencia de las fracturas osteoporóticas en general se esté incrementando en la población mayor; aquella de más de 50 años (Court-Brown & Caesar, 2006). En concreto se ha debatido si las fracturas de tobillo son o no fracturas osteoporóticas (Court-Brown & Caesar, 2006). En relación a esto, al contrario de lo que se observa en otros tipos de fracturas (ej., cadera o muñeca) algunos estudios no encuentran una asociación clara entre la densidad ósea y las fracturas de tobillo (Hasselmann et al., 2003; Seeley et al., 1991). Sin embargo, un parámetro a tener en cuenta sería el tipo de fracturas de tobillo ya que la distribución en la población puede ser diferente en función del tipo de esta (Court-Brown & Caesar, 2006).

En cuanto a los datos en la actualidad, en general, la incidencia de las fracturas de tobillo oscila entre los 71-187 casos por 100.000 habitantes/año (Court-Brown & Caesar, 2006; Elsoe et al., 2018; Juto et al., 2018; Tomé-Bermejo et al., 2016) con una edad media de los afectados en torno a los 45-56 años (Juto et al., 2018; Moseley et al., 2015). Como se ha indicado anteriormente, aunque algunos estudios sugieren que su incidencia es mayor con la edad (Court-Brown & Caesar, 2006; Juto et al., 2018), varios trabajos reportan que esta relación no es clara, dado que la mayoría de las fracturas de tobillo parecen ocurrir en personas que tienen una edad inferior a los 60 años (Court-Brown & Caesar, 2006;

Hasselmann et al., 2003; Juto et al., 2018; Somersalo et al., 2014). Por ejemplo, en un estudio (Juto et al., 2018) se observó que en el intervalo de 20-29 años la incidencia en hombres superó los 150 casos por 100.000 habitantes/año. En la franja de edades comprendidas entre los 40-49 y 50-59 la incidencia en hombres no varió, mientras en las mujeres aumentó por encima de los 250 casos por 100.000 habitantes/año a los 50-59 años. A partir de los 59 años la incidencia en hombres no varió mucho mientras que en las mujeres siguió aumentando hasta alcanzar el pico de incidencia (>300 casos) a los 60-69 años (Juto et al., 2018). Similares datos también han sido reportados por otros autores (Elsoe et al., 2018). Por tanto, si se tiene en cuenta el género observamos una distribución bimodal, presentando un pico de incidencia en el varón joven y otro pico en la mujer mayor de los 65 años (Elsoe et al., 2018; Tomé-Bermejo et al., 2016).

Entre los mecanismos lesivos encontramos aquellos clasificados de alta energía, como pueden ser los accidentes de tráfico o deportivos, o los traumatismos intensos y por otro lado, los mecanismos de baja energía como pueden ser caídas cotidianas, torceduras o resbalones (Elsoe et al., 2018; Juto et al., 2018; Thur et al., 2012). Son diversos los autores que estiman que un alto porcentaje de las fracturas, entorno al 61.0% - 68.2% hasta el 76.8%, se deben a mecanismos de baja energía y solo un bajo porcentaje de estas se deben a accidentes o mecanismos de alta energía (Elsoe et al., 2018; Goost et al., 2014; Juto et al., 2018; Liu et al., 2018; Scholes et al., 2014; Thur et al., 2012).

El tratamiento de las fracturas de tobillo va a depender de varios factores, entre los que destacan el grado de afectación de las estructuras óseas, así como de si hay daño en los tejidos blandos y ligamentosos. Por tanto, se hace necesaria una correcta clasificación de las fracturas basada en un examen adecuado con objeto de optimizar la selección del tratamiento (Fonseca et al., 2017). Una adecuada evaluación de las fracturas que ayude al personal clínico a orientar las opciones terapéuticas requiere habitualmente de un exhaustivo examen físico, una historia médica completa, así como de un estudio radiológico específico (Fonseca et al., 2017; Goost et al., 2014).

1.2. Clasificación de las fracturas

A lo largo de la historia han aparecido diversas formas de clasificar las fracturas. Las tres más utilizadas son la de Lauge-Hansen, la de Danis Weber y la clasificación de la Foundation OA y Orthopaedic Trauma Association (OA-OTA) (Juto et al., 2018; Shariff & Nathwani, 2006). La clasificación de Lauge-Hansen se basa en los mecanismos lesionales y en la posición en la que se encuentra el tobillo en el momento de la lesión. Según esta clasificación podemos diferenciar 4 tipos de fracturas: supinación-aducción, supinación-eversión, pronación-eversión y pronación-abducción (Shariff & Nathwani, 2006). El primer término hace referencia a la posición en la cual se encuentra el pie en el momento de la lesión y el segundo término hace referencia a la dirección de la fuerza aplicada al pie en el momento de la lesión. Atendiendo a esta clasificación, el patrón de fractura que mayormente se observa en las consultas (40% - 75%) es el patrón de supinación-eversión, lo que significa que en el momento de la fractura el pie está en supinación y sufre una fuerza en rotación externa (Fonseca et al., 2017; Shariff & Nathwani, 2006). Este patrón parece ser el más lesivo debido a que durante la posición del tobillo en flexión dorsal y rotación externa, el complejo ligamentoso se encuentra en mayor tensión mecánica (Koujan & Saber, 2020; Sanchez-Morata et al., 2018).

El sistema de clasificación de Danis y Weber se trata de un sistema fácil de usar que se basa en la localización de la línea de fractura en el peroné en relación a la articulación del tobillo. Siguiendo esta clasificación se pueden dividir las fracturas en tipo A (por debajo de la sindesmosis: infrasindesmales), tipo B (al mismo nivel que la sindesmosis: transindegmales) y tipo C (por encima de la sindesmosis: suprasindegmales). Sin embargo, pese a su fácil reproductibilidad, esta clasificación no puede predecir sistemáticamente si existe o no lesión de la sindesmosis y por tanto si hay o no inestabilidad (Fonseca et al., 2017; Sanchez-Morata et al., 2018).

Finalmente, otra clasificación muy utilizada en traumatología es la de los grupos OA-OTA la cual fue publicada como un compendio en 1996 en la Journal of Orthopaedic Trauma (JOT) (Meinberg et al., 2018). Este compendio ha sido revisado varias veces para su uniformidad. La revisión de 2007 normalizó los dos códigos alfanuméricos, desarrollando así un sistema uniforme internacionalmente reconocido para la

investigación clínica de las fracturas y luxaciones (Marsh et al., 2007). La última revisión fue realizada en 2018 y como resultado proporciona un compendio más conciso y clínicamente relevante de las fracturas (Meinberg et al., 2018). Esta clasificación se basa en la clasificación de Danis y Weber, pero además de clasificar las fracturas según su tipo (i.e., nivel de la lesión; A, B, C), estos se subdividen en base a la presencia de lesión medial o posterior en grupos y subgrupos. Para la clasificación alfanumérica se tiene en cuenta la localización de la fractura y la morfología. Lo primero sería codificar el hueso afectado; en este caso, el 4 corresponde a la tibia y el peroné. El siguiente número es el que indica el segmento; en este caso 4 corresponde al segmento maleolar. Lo siguiente en codificarse sería el tipo de fractura, el grupo y el subgrupo (Juto et al., 2018; Marsh et al., 2007; Meinberg et al., 2018). Siguiendo sus directrices, de forma similar a la clasificación de Danis y Weber, las fracturas de tobillos se agruparían en 3 tipos según la localización (A; infrasindesmales, B; transindesmales y C; suprasindesmales. A su vez los diferentes tipos de fracturas se dividen en 3 grupos cada una (1, 2, 3). Por tanto, existen 9 posibles grupos y a su vez, cada grupo se divide en tres subgrupos (1, 2, 3), siendo un total de 27 subgrupos. Este sistema de codificación es de gravedad creciente, por tanto, al analizar estos parámetros y mediante esta codificación, la clasificación OA-OTA proporciona una idea de la gravedad y el grado de inestabilidad asociado a un patrón específico de fractura. La figura 1 muestra los tres tipos de fracturas según los grupos de la clasificación OA-OTA.

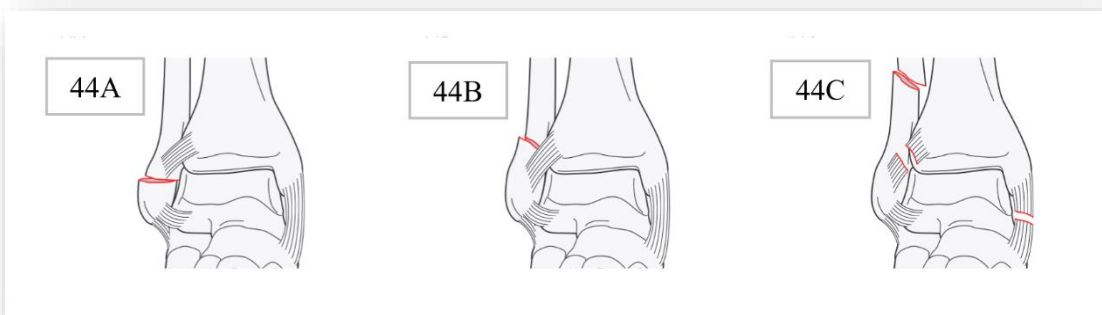


Figura 1. Tipos de fracturas según los grupos OA-OTA. De izquierda a derecha: 44A: fracturas infrasindesmales; 44B fracturas transindesmales y 44C fracturas suprasindesmales. *Reproducido con permiso de la AO Foundation. Copyright by AO Foundation, Switzerland. (2018). AO/OTA Fracture and Dislocation Classification [Ilustración]. En <https://classification.aoeducation.org/>; Meinberg et al. Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018. J Orthop Trauma. 2018 Jan;32 Suppl 1:S1-S170*

- Por ejemplo, los grupos del tipo 44A como se muestra en la figura 2 serían:

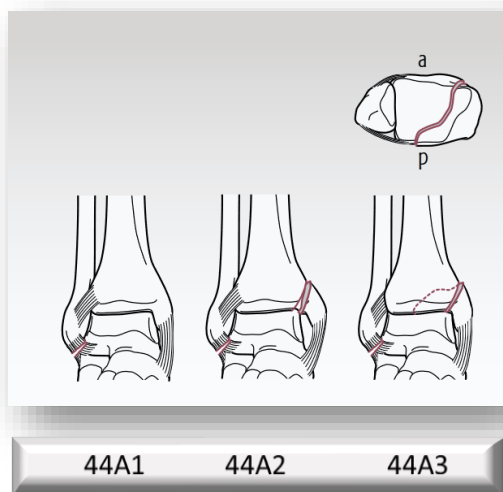


Figura 2. Grupos de las fracturas tipo 44A (infrasin-desmales): 44A1; lesión aislada del peroné, 44A2; lesión del peroné y una fractura del maléolo medial y 44A3; una lesión del peroné y una fractura posteromedial.

Reproducido con permiso de la AO Foundation.

” Copyright by AO Foundation, Switzerland”.

(2018). AO/OTA Fracture and Dislocation Classification [Ilustración]. En

https://classification.aoeducation.org/

- Los grupos del tipo 44B como se muestra en la figura 3 serían:

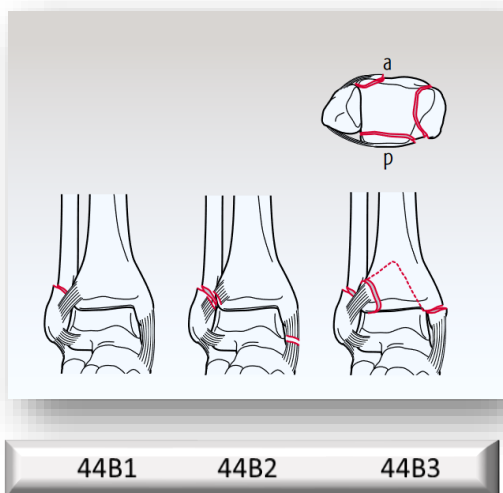


Figura 3. Grupos de las fracturas tipo 44B (transin-desmales): 44B1; fractura simple del peroné, 44B2; fractura transin-desmal del peroné con lesión medial y 44B3; fractura transin-desmal del peroné con lesión medial y fractura del reborde posterolateral (fractura de Volkmann).

Reproducido con permiso de la AO Foundation.

” Copyright by AO Foundation, Switzerland”.

(2018). AO/OTA Fracture and Dislocation Classification [Ilustración]. En

https://classification.aoeducation.org/

- Y, por último, los grupos del tipo 44C como se muestra en la figura 4 serían:

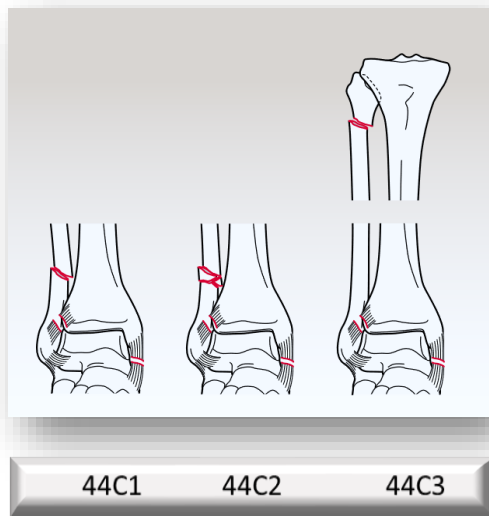


Figura 4. Grupos de las fracturas tipo 44C (suprasindesmales): 44C1; fractura simple de la diáfisis del peroné, 44C2; fractura del peroné en cuña o multifragmentario y 44C3; lesión proximal del peroné.

Reproducido con permiso de la AO Foundation.
 " Copyright by AO Foundation, Switzerland".
 (2018). AO/OTA Fracture and Dislocation Classification [Ilustración]. En <https://classification.aoeducation.org/>

Para finalizar, los subgrupos se codifican como 44X1.1, 44X1.2, 44X1.3 (*El ANEXO I muestra un resumen de la clasificación de las fracturas según OA-OTA*) (Fonseca et al., 2017; Juto et al., 2016, 2018; Meinberg et al., 2018).

Estudios previos han examinado la fiabilidad interobservador de este sistema de clasificación y los datos oscilan en torno a un valor de kappa 0.57 - 0.77 para el tipo de fractura y de 0.45 - 0.61 para el grupo (Malek et al., 2006; Thomsen et al., 2002). Es importante subrayar que, dada sus características y pese a que son necesarios más estudios para verificar su fiabilidad, este sistema de clasificación es el más utilizado en la actualidad, ya que ha permitido al personal clínico ordenar el estado de las fracturas utilizando un sistema muy completo mediante un lenguaje uniforme. Esta clasificación se encuentra en continua evolución ya que se modifica o completa en tanto función de la retroalimentación de sus usuarios como en base a los hallazgos de la investigación clínica. Por ello, cubre las necesidades tanto de la comunidad clínica como científica (Meinberg et al., 2018). En la figura 5 se puede observar la imagen radiográfica de un paciente con una fractura de tobillo siguiendo la clasificación de la OA-OTA que ha participado en el estudio que constituye esta tesis.



Figura 5. Caso clínico: Varón de 35 años. No fumador ni otros hábitos tóxicos, ningún antecedente médico (no presenta diabetes ni arteriopatía, no toma corticoides). **Clasificación de la fractura de tobillo:** 44B3: fractura transindesmal del peroné, con lesión medial y fractura arrancamiento de Volkmann (fractura del reborde posterolateral). **Mecanismo lesional:** supinación-rotación externa. * **Imágenes radiográficas preoperatorias.** *Imagen cedida por la Unidad de traumatología del Hospital Universitario Marqués de Valdecilla, Universidad de Cantabria (UC).

1.3. Tratamiento quirúrgico de las fracturas de tobillo

El abordaje de las fracturas inestables y con desplazamiento de los fragmentos óseos habitualmente requiere de tratamiento quirúrgico (Koujan & Saber, 2020). En estos casos, la inestabilidad, la desalineación y los desplazamientos de los fragmentos óseos pueden provocar importantes alteraciones biomecánicas y funcionales, las cuales pueden conducir a su vez a procesos degenerativos a largo plazo como la artrosis (Vilá y Rico et al., 2016). El tratamiento recomendado para estas fracturas es la reducción abierta y la fijación interna (RAFI) (Moseley et al., 2015). Para alcanzar un funcionamiento óptimo de la articulación y reducir las secuelas a largo plazo, es fundamental que la cirugía restaure la congruencia articular, para lo cual se hace necesario reconstruir la superficie articular y proteger las estructuras ligamentosas que hayan sido lesionadas (Goost et al.,

2014; Regan et al., 2016; Tantigate et al., 2019). Para conseguir una correcta reducción de la fractura y una adecuada alineación de esta, inicialmente se debe tener en cuenta restaurar correctamente la longitud, así como corregir el eje y la rotación del peroné si es necesario. Asimismo, hay que asegurar que haya una distancia óptima tibiotarsiana y desde el peroné al tarso. En los casos en los que sea necesario, también se debe realizar una reducción del triángulo de Volkmann (arrancamiento del reborde posterolateral de la tibia) (Goost et al., 2014; Tantigate et al., 2019; Tomé-Bermejo et al., 2016). En la figura 6 se puede observar la imagen radiográfica postcirugía del tobillo del mismo paciente de las imágenes anteriores que participó en el estudio que constituye esta tesis (figura 5).

Debido a sus características, las fracturas de tobillo tratadas quirúrgicamente suelen requerir de un periodo de hospitalización (Juto et al., 2018; Tomé-Bermejo et al., 2016), englobándose en concreto dentro de los 5 tipos de fracturas más frecuentes tratadas que requieren estancia hospitalaria (Somersalo et al., 2014). En general, y aunque en los últimos años se ha tendido a disminuir el periodo de la estancia hospitalaria, esta oscila entre los 6 - 10 días, si bien estos datos pueden variar en función del tipo de fractura o de la edad de los pacientes (Jensen et al., 1998; Somersalo et al., 2014; Thur et al., 2012). Así en un estudio, los pacientes que precisaron una mayor estancia hospitalaria fueron aquellos de más de 60 años o aquellos con fracturas bimalleolares o trimaleolares (Somersalo et al., 2014; Thur et al., 2012). En general, el tratamiento de las fracturas que requieren cirugía y hospitalización suponen un mayor coste (Somersalo et al., 2014). Esto sumado al periodo postoperatorio y a la posterior rehabilitación, hace que las fracturas sean una importante fuente de absentismo laboral sobre todo durante el primer año después de la cirugía. Todo lo mencionado con anterioridad hace que las fracturas de tobillo generen un gran impacto socio-económico en la población (Juto et al., 2018; Koujan & Saber, 2020; O'Hara et al., 2020; Somersalo et al., 2014).

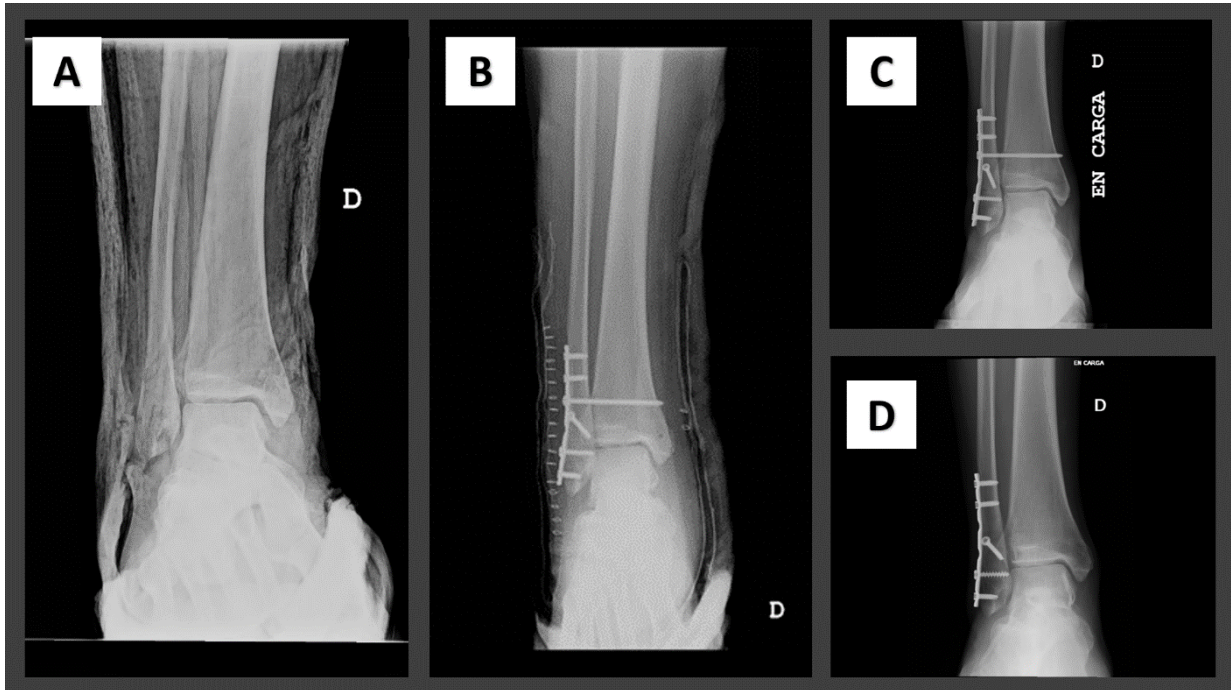


Figura 6. Caso clínico anterior. Días desde la fractura a la intervención: 1 día; **imagen A:** post-reducción de la fractura; **B, C:** postcirugía, RAFI (reducción abierta con fijación interna) con un tornillo interfragmentario y placa LCP de 3.5 de tercio de caña (con tornillo suprasindesmal a través de la placa). Abordaje medial: sutura ligamento deltoideo. Pauta postquirúrgica: inmovilización 3 semanas con férula a 90°. Movilización activa y descarga hasta la sexta semana. Carga progresiva. **C:** retirada del tornillo suprasindesmal a las 16 semanas. No existencia de complicaciones postquirúrgicas. * *Imagen cedida por la Unidad de traumatología del Hospital Universitario Marqués de Valdecilla, Universidad de Cantabria (UC).*

1.4. Consecuencias tras una fractura de tobillo

Como se ha comentado en apartados anteriores, las personas con fractura de tobillo pasan un periodo de inmovilización después de la cirugía seguido de una fase de descarga en la cual no pueden cargar peso sobre la extremidad inferior afectada (Lin et al., 2012; Moseley et al., 2015). Esto genera una importante reducción en el nivel de actividad, en especial, de la extremidad inferior que ha sido operada después de la fractura de tobillo. Tal como la literatura recoge, este desuso o la inactividad general genera unos cambios musculares tales como la atrofia muscular, la pérdida de las proteínas miofibrilares, cambios en el metabolismo muscular o cambios neuromotores entre otros (Stevens et al., 2004). Por ejemplo, un estudio estimó que la sección transversal del tríceps sural disminuye hasta un 20% - 32% tras 8 semanas de inmovilización después de una cirugía

de tobillo (Vandenborne et al., 1998). Con relación a esto, parece que hay músculos con una mayor predisposición a la atrofia que otros. En este sentido se sugiere que los músculos de las extremidades inferiores tendrían una mayor predisposición a presentar atrofia que los músculos de las extremidades superiores (LeBlanc et al., 1992; Marusic et al., 2021). Para lo que aún no existe una evidencia clara es si el grado de atrofia es mayor o menor entre los diferentes músculos de la extremidad inferior (Stevens et al., 2004). Poseer información sobre este aspecto podría tener un impacto positivo en la posterior rehabilitación al poder enfatizar en aquellos músculos más afectados y poder valorar si ello supone acelerar los procesos recuperación.

Respecto al tiempo de inmovilización, en la literatura se recoge que puede ir de semanas hasta meses después de la cirugía. Si bien, este tiempo puede variar en función de la complejidad de la intervención, un tiempo mínimo es necesario, el cual viene determinado por la consolidación de las estructuras óseas (Stevens et al., 2004). En relación a la fase de descarga, en general, el periodo hasta que los pacientes logran un soporte de peso completo sobre el tobillo operado varía entre las 12 y las 16 semanas, si bien ciertos pacientes llegan a requerir hasta 6 meses para ser capaces de cargar el 100% de su peso sobre su tobillo (Koujan & Saber, 2020). Tras todo este proceso, es frecuente y habitual que el paciente experimente dolor, hinchazón del tobillo, sensación alterada, atrofia muscular, disminución en la fuerza y de la propiocepción y rigidez del tobillo entre otras alteraciones (Albin et al., 2019; Lin et al., 2009, 2012; McPhail et al., 2012; Segal et al., 2014; Stufkens et al., 2011). Esto conlleva que frecuentemente la movilidad del tobillo quede restringida, en especial, la flexión dorsal (Albin et al., 2019; Brockett & Chapman, 2016; Nilsson et al., 2003). Esta limitación en el rango de movimiento (ROM) tiene una gran implicación funcional ya que la flexión dorsal del tobillo es un elemento fundamental para desarrollar diversas funciones del ser humano como la locomoción. Cabe resaltar que durante la marcha, una adecuada flexión dorsal es necesaria para una correcta transferencia de peso desde una extremidad a la otra durante el paso (Albin et al., 2019; Brockett & Chapman, 2016). Además, la limitación de la flexión dorsal condiciona negativamente la realización de otras tareas funcionales relacionadas con las actividades diarias o deportivas como puede ser acciones de aterrizaje o de recepción o subir o bajar escaleras (McKeown et al., 2020; Larsen et al., 2016; Nilsson et al., 2007; Lin et al., 2009). Asimismo, la capacidad de realizar estas tareas funcionales parece afectada por el hecho de que el déficit de movilidad del tobillo, unido a la disminución de fuerza y

disminución de la propiocepción que se da después de la cirugía, deteriora el equilibrio de los pacientes con fracturas de tobillo (Albin et al., 2019; Basnett et al., 2013; Kang et al., 2015; Robinson & Gribble, 2008; Wang et al., 2016; Winter et al., 1990). En este sentido, en la literatura se recoge que el factor biomecánico más importante para el mantenimiento óptimo del equilibrio es la función de la base de apoyo (el pie). Por tanto, cualquier limitación en la amplitud de movimiento, en la fuerza, la existencia de dolor o falta de control de los pies afectará al equilibrio (Horak, 2006).

Inicialmente después de la cirugía, si no hay complicaciones la recuperación es rápida en cuanto a la limitación de actividades se refiere (aproximadamente los tres primeros meses), pero con el transcurso del tiempo la recuperación se va ralentizando hasta no alcanzar en algunos casos una recuperación total hasta los 24 meses después de la cirugía (Moseley et al., 2015; Pr et al., 2014). Además de la afectación de las capacidades físicas y de las actividades funcionales anteriormente descritas, también se ha reportado que las fracturas suponen un impacto a nivel social y psicológico. Es importante destacar que los pacientes tras una fractura de tobillo declaran que la pérdida de independencia es un aspecto limitante en su día a día y les supone una importante fuente de frustración (McKeown et al., 2020). Otro factor que contribuye a esta pérdida de independencia es el miedo a caer que desarrollan los pacientes, en especial, al salir de casa o al encontrarse en sitios concurridos de gente (McKeown et al., 2020; McPhail et al., 2012). Por todo ello, el conjunto de las alteraciones que presentan las personas tras una fractura de tobillo conllevan una reducción en el nivel de participación social, ya sea a nivel laboral, o a nivel recreacional, lo cual tiene un fuerte impacto negativo en la calidad de vida (McKeown et al., 2019; McPhail et al., 2012; Ziegler et al., 2017). Ante esta situación, es frecuente que las personas presenten cuadros de ansiedad, fatiga, frustración, alteración del sueño e incluso depresión (McPhail et al., 2012; van der Sluis et al., 1998). También ha sido descrito el miedo que presentan algunos pacientes a volver a fracturarse el tobillo pese a haber pruebas objetivas que confirman la consolidación de las estructuras óseas (Nilsson et al., 2007; McKeown et al., 2020). Estas alteraciones físicas, psicológicas y sociales no se resuelven a corto plazo, sino que es frecuente que las personas operadas sigan con molestias y limitaciones tiempo después de la cirugía (Egol et al., 2000; Lin et al., 2012; Moseley et al., 2015; Nilsson et al., 2003; Stufkens et al., 2011; van der Sluis et al., 1998). En cuanto al tiempo de recuperación y las posibles secuelas, existe controversia en la literatura. En general, diversos trabajos reportan que los pacientes

presentan dolor, rigidez, hinchazón, y discapacidades funcionales tiempo después de las fracturas (Egol et al., 2000; Moseley et al., 2015; Tejwani et al., 2007). En este sentido, algunos estudios que evalúan los resultados a largo plazo en tiempos que oscilan desde los 14 meses hasta los 6 años después de la fractura, encuentran que son pocos los pacientes que presentan una recuperación completa (McPhail et al., 2012; Moseley et al., 2015; van der Sluis et al., 1998). Sin embargo, otros estudios describen que los pacientes con una fractura de tobillo después de un año de la fijación quirúrgica tienen poco o un leve dolor y poca restricción en las actividades aunque si muestran signos radiológicos de artrosis (Egol et al., 2000, 2006; Regan et al., 2016). En relación a esto, una revisión sistemática reciente, la cual incluyó 18 estudios con un total de 1822 fracturas de tobillo en los que se hizo un seguimiento entre los 4 a 14 años post-fractura, mostró que uno de cada cinco pacientes no tuvo buenos resultados (Stufkens et al., 2011). Entre los diversos factores que pueden afectar al tiempo de recuperación destaca el tipo de fractura, entre las cuales, las fracturas bimaleolares y las trimaleolares son las más severas y las que presentan unos peores resultados funcionales (Tejwani et al., 2007; Tosun et al., 2018). Dentro de las fracturas de tobillo, las fracturas bimaleolares son las más frecuentes representando un 60 % (Koujan & Saber, 2020). Podemos definir las fracturas bimaleolares como aquellas que afectan a ambos maléolos lateral y medial, en la parte distal del peroné y de la tibia (Koujan & Saber, 2020). Dada la alta complejidad en el abordaje de las fracturas de tobillo, su alta incidencia, las secuelas a largo plazo que conllevan y su impacto negativo en la calidad de vida, las fracturas representan un problema de salud pública y generan un fuerte impacto socio-económico como se comentó anteriormente (Juto et al., 2018; Koujan & Saber, 2020; O'Hara et al., 2020; Somersalo et al., 2014). En este sentido una revisión sistemática que analizó el impacto económico en el sistema de salud de los esguinces y de las fracturas de tobillo inestables o desplazadas, estimó que las fracturas de tobillo suponen al sistema de salud unos costes directos entorno a los 2.860 y 19.555 dólares y unos costes generales (directos e indirectos) entre 8.688 y 20.414 dólares por paciente, siendo mayores los costes en aquellos pacientes con fracturas bimaleolares o trimaleolares de tobillo (Bielska et al., 2017). Por tanto, la investigación cuantitativa acerca de la evolución de las capacidades físicas y de la funcionalidad de las personas tras una fractura de tobillo es esencial para una óptima atención al paciente y para una óptima la estrategia sanitaria (Pr et al., 2014).

Es importante entender el curso de la recuperación para poder fundamentar como y cuando realizar una estrategia terapéutica adecuada y específica.

1.5. Rehabilitación

La rehabilitación debe comenzar de forma temprana después de la cirugía o después del tratamiento conservador de las fracturas de tobillo con el objetivo de minimizar las secuelas (Lin et al., 2012). Diversos autores sugieren que los objetivos principales de los programas de rehabilitación suelen ser aumentar el ROM de tobillo, mejorar los déficits de fuerza, mejorar el control postural y el equilibrio, mejorar la propiocepción, disminuir el dolor, disminuir la sensación de rigidez o conseguir un soporte completo de peso sobre el tobillo que ha sufrido la fractura (Lin et al., 2012; Moseley et al., 2015; Ruiz et al., 2002). Tras la fase de inmovilización, entre las diversas técnicas que se emplean en rehabilitación podemos encontrar: los estiramientos, la terapia manual consistente en movilizaciones para ganar el ROM de tobillo, ejercicios de equilibrio, termoterapia, neuroestimulación o ejercicios guiados o supervisados entre otras (Albin et al., 2019; Lin et al., 2012; Moseley et al., 2015). En este sentido, no hay una evidencia científica clara sobre cuál es la mejor opción terapéutica aunque sí parece que el ejercicio o la carga de peso temprano pueden tener beneficios en la recuperación (Lin et al., 2009, 2012; McKeown et al., 2019; Moseley et al., 2015). Tampoco está claro cuál es el momento adecuado de comenzar la rehabilitación, ya que no existe una evidencia firme sobre los beneficios o efectos secundarios que puede tener un tratamiento precoz (Lin et al., 2012). Por ello, para poder establecer un protocolo de actuación y escoger las técnicas más eficaces para estos pacientes, es básico conocer el curso de la recuperación e identificar qué factores constituyen un factor asociado a un peor o mejor resultado funcional. La literatura habla de algunos aspectos que podrían asociarse a una peor recuperación, pero tampoco existe un consenso sobre cuáles son los más relevantes. Algunos de estos podrían ser: la edad, el sexo, la gravedad de la lesión, la ingesta de alcohol, el vivir solo, o el dormir menos de 7 horas (Liu et al., 2018).

1.6. Planteamiento general del problema de investigación

Cabe recordar que el mantenimiento del control postural es necesario y esencial para el desarrollo de diversas actividades como estar de pie, subir escaleras o caminar de una forma segura (Pollock et al., 2000; Sibley et al., 2015). Se ha de tener en cuenta que el control postural se considera una habilidad motora compleja que derivada de la interacción de múltiples procesos sensoriomotores (Horak, 2006; Ivanenko & Gurfinkel, 2018). Los dos objetivos esenciales del control postural son la orientación y el equilibrio. Cuando hablamos de equilibrio postural esto implica la coordinación de diversas estrategias sensoriomotoras que tienen como objetivo estabilizar (mantener o restaurar) el centro de masa del cuerpo dentro de la base de sustentación ante perturbaciones internas y externas (Horak, 2006; Pollock et al., 2000). Dentro de los componentes necesarios para el mantenimiento del equilibrio postural podemos destacar: la correcta implicación del sistema biomecánico (movilidad, fuerza), las estrategias de movimiento (anticipatorias, de reacción, voluntarias), la estrategia sensorial (adecuada integración e interpretación de la información sensorial), la orientación en el espacio (orientación de las partes del cuerpo con respecto a la gravedad, la superficie de apoyo, a el entorno visual y a las referencias internas), el control dinámico (caminar, acciones dinámicas), así como el procesamiento cognitivo (atención, aprendizaje) (Horak, 2006; Sibley et al., 2015).

Además se debe tener en cuenta que una deficiencia aislada en uno de los mecanismos antes mencionados por sí sola no conduce obligatoriamente a un déficit funcional del equilibrio y que ni cuanto mayor sea la deficiencia, mayor será la incapacidad (Horak, 2006). Por tanto, no es una relación lineal ya que no solo se debe tener en cuenta el tipo de deficiencia sino las estrategias compensatorias que cada persona adopta ante esas deficiencias para mantener la estabilidad. Por ello es necesario evaluar el equilibrio teniendo en cuenta la interacción de diversos aspectos que afectan al control postural (Pollock et al., 2000).

Estudios en diversas poblaciones han mostrado que los déficits de equilibrio afectan de forma considerable la función física, limitando la movilidad general. Por tanto, los déficits de equilibrio implican una disminución en el nivel de participación en las actividades de la vida diaria y sociales, con la consiguiente repercusión negativa en la independencia de las personas y en su calidad de vida (Albin et al., 2019; Basnett et al.,

2013; Bisson et al., 2011; Dudek et al., 2014; M.-K. Kim & Kim, 2015; Ko et al., 2016; McKeown et al., 2020; Winter et al., 1990; Zhang et al., 2020). Dada la complejidad del equilibrio y por la implicación que supone en la calidad de vida de las personas, es un elemento básico a abordar de una forma específica en el proceso de rehabilitación de los pacientes con fracturas de tobillo, ya que se ha mostrado que su mejora supone unos mejores resultados clínicos, un menor riesgo de caídas y una mejora de la funcionalidad (Wang et al., 2016). A pesar de la importancia que tiene el equilibrio en los procesos de recuperación de personas que han sufrido fracturas de tobillo, la literatura científica presenta varias lagunas que deben ser solventadas con objeto de optimizar los protocolos de rehabilitación.

Por un lado, si bien diversos estudios han identificado déficits de equilibrio en las personas que han tenido una fractura tobillo (Albin et al., 2019; Dudek et al., 2014; Kang et al., 2015; Mentiplay et al., 2015; Wang et al., 2016), en la actualidad no existen datos normativos en esta población que puedan ser usados para evaluar en qué medida los pacientes recuperan los niveles de equilibrio encontrados en la población general, ni el tiempo que requieren para ello. Como paso preliminar para alcanzar este objetivo, se hace necesario disponer de herramientas fiables, fáciles y rápidas de usar a nivel clínico que nos permitan cuantificar los déficits de equilibrio en esta población, así como monitorizar la evolución de esta cualidad a lo largo del periodo de rehabilitación.

Además, estudios llevados a cabo en otras poblaciones han observado que diversas capacidades físicas como el ROM de flexión dorsal del tobillo o la fuerza de la musculatura de la cadera pueden afectar al equilibrio; sin embargo, hasta donde sabemos, no existen estudios que hayan analizado la correlación de estos factores con el nivel de equilibrio y su evolución durante el proceso de recuperación en pacientes con fractura de tobillo. En este sentido, también se desconoce cuál es el comportamiento neuromuscular que presenta esta población asociado a un mayor o menor nivel de equilibrio o cuáles son sus estrategias compensatorias para mantener la estabilidad. Por ello es necesario tener un mayor conocimiento y comprensión de los déficits de equilibrio en esta población con tal de poder seleccionar las herramientas diagnósticas y terapéuticas más adecuadas.

Además de lo anteriormente mencionado, es necesario conocer en qué medida diversas capacidades físicas y neuromusculares, que se encuentran o no alteradas tras la fractura, condicionan la recuperación funcional a medio y largo plazo. Asimismo, analizar si la

recuperación se ve influenciadas por ciertas condiciones del proceso postquirúrgico como el tiempo de inmovilización o el tiempo de descarga ayudaría a optimizar y especializar los protocolos de rehabilitación para que se enfatizen aquellos factores asociados a una mejor prognosis. En este sentido, la información pronóstica sobre las limitaciones de la actividad puede ser especialmente importante para las personas con fractura de tobillo (McPhail et al., 2012), por lo que conocer cuál es la evolución temporal de la recuperación permitirá a los clínicos una mejor orientación y comunicación con el paciente sobre los tiempos en los que irán recuperando su nivel previo de actividad.



CAPÍTULO 2

OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS

CAPÍTULO 2: OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS

2.1. Objetivos generales

En base a las limitaciones mostradas en la literatura que han sido expuestas en el capítulo anterior, los objetivos generales de esta tesis doctoral fueron:

- 1) Desarrollar protocolos válidos y fiables para la evaluación del equilibrio para el uso clínico después de la cirugía en personas que han sufrido una fractura maleolar de tobillo después de la cirugía.
- 2) Cuantificar de una manera fiable los déficits de equilibrio, así como otros parámetros como son el ROM de flexión dorsal de tobillo o la fuerza de la musculatura de la cadera y evaluar algunos parámetros antropométricos como el perímetro bimalleolar o el de la pantorrilla en personas que han sufrido una fractura maleolar de tobillo después de la cirugía.
- 3) Evaluar la evolución de estos déficits encontrados en personas que han sufrido una fractura maleolar de tobillo después de la cirugía.
- 4) Describir el patrón neuromuscular durante las pruebas que valoran el equilibrio, en personas que han sufrido una fractura maleolar de tobillo después de la cirugía.
- 5) Analizar que variables mecánicas, electromiográficas y clínicas están relacionadas con un mayor grado de recuperación en la funcionalidad en personas que han sufrido una fractura maleolar de tobillo después de la cirugía.

Para llevar a cabo nuestros objetivos se diseñó un estudio en el que se cuantificó el equilibrio tanto estático como dinámico a través de una plataforma de presiones y de un test de campo como el Y-Balance test (YBT), respectivamente. También se llevaron a cabo valoraciones del ROM de flexión dorsal de tobillo, de la fuerza de la musculatura de la cadera y de los perímetros bimalleolar y de la pantorrilla. También se evaluó mediante electromiografía el comportamiento neuromuscular de la extremidad inferior en las tareas de equilibrio. De este estudio se presentan 3 trabajos en esta tesis, los cuales

nos han permitido ir cumpliendo los objetivos propuestos (la muestra de participantes, así como la metodología es común en cada trabajo). Cada trabajo tiene una introducción propia en relación al problema de investigación específico y a los objetivos establecidos. Asimismo, se irá desarrollando la metodología propia de cada trabajo que no haya sido expuesta anteriormente.

El primer trabajo se realizó a los 6 meses después de la cirugía, en el cual se analizó la fiabilidad de una herramienta de campo para cuantificar el equilibrio dinámico, el Y-Balance test (YBT). El segundo trabajo se trató de un trabajo longitudinal en el que se evaluó la evolución de los déficits del ROM de flexión dorsal de tobillo, de la fuerza de la musculatura de la cadera, de los perímetros bimaleolar y de la pantorrilla, así como del equilibrio estático y dinámico a medio (6 meses) y a largo (12 meses) plazo después de la cirugía. También se evaluó la evolución funcional de estos pacientes a través de medidas de resultado informadas por el paciente (PROM) o de instrumentos mixtos, como el Olerud Molander Ankle Score (OMAS) o la American Orthopaedic Foot and Ankle Society, Ankle-Hindfoot score (AOFAS_{AH}), respectivamente. Además, se evaluó la implicación de variables clínicas y físicas en la restauración del ROM de flexión dorsal, del equilibrio y de la funcionalidad. El tercer trabajo se centra en describir y conocer los patrones neuromusculares a medio (6 meses) y a largo (12 meses) plazo después de la cirugía, valorados mediante electromiografía de superficie (EMG) asociados a las pruebas de equilibrio tanto estático como dinámico en esta población.

Los títulos de los trabajos en los cuales se encuentra dividida la tesis son los siguientes:

- *Trabajo 1:* Cuantificando los déficits de equilibrio en personas con fractura bimaleolar de tobillo a los 6 meses después de la cirugía mediante el Y-Balance Test
- *Trabajo 2:* Comprendiendo los déficits de equilibrio, flexión dorsal del tobillo y fuerza de la cadera a largo plazo en personas con fractura bimaleolar de tobillo y su impacto en la funcionalidad
- *Trabajo 3:* Cambios en la estrategia motora y control neuromuscular durante las tareas de equilibrio en personas con fractura bimaleolar de tobillo

2.2. Objetivos específicos e hipótesis

A continuación, se presentan los objetivos específicos de los tres trabajos que forman parte de esta tesis doctoral.

Trabajo 1: Cuantificando los déficits de equilibrio en personas con fractura bimalleolar de tobillo a los 6 meses después de la cirugía mediante el Y-Balance Test

- Analizar la capacidad del YBT para 1) proporcionar puntuaciones de referencia que ayuden a identificar si los cambios durante la rehabilitación son causados por el tratamiento o por la variabilidad dentro del sujeto (es decir, fiabilidad absoluta); 2) clasificar a las personas con fractura de tobillo según su estado de equilibrio (es decir, fiabilidad relativa).
- Evaluar la capacidad del YBT para cuantificar las diferencias entre las extremidades inferiores (operada vs no operada) a los 6 meses después de la cirugía.

Trabajo 2: Comprendiendo los déficits de equilibrio, flexión dorsal del tobillo y fuerza de la cadera a largo plazo en personas con fractura bimalleolar de tobillo y su impacto en la funcionalidad

- Analizar la evolución de los 6 a los 12 meses después de la cirugía del equilibrio dinámico y estático, así como del ROM de flexión dorsal del tobillo, de la fuerza de la musculatura de la cadera (aductora (ADD) y abductora (ABD)), de los perímetros de la pantorrilla y bimalleolar y de la funcionalidad del tobillo.
- Cuantificar si existen diferencias en todas estas variables respecto a un grupo control (GC) de personas sanas tanto a los 6 como a los 12 meses después de la cirugía.
- Valorar si existe correlación entre los resultados de las pruebas objetivas que valoran el ROM de flexión dorsal de tobillo, la fuerza, los perímetros de la pantorrilla y bimalleolar y el equilibrio con el OMAS y el AOFAS_{AH} en personas que han sufrido una fractura bimalleolar de tobillo y han sido intervenidas quirúrgicamente. A los 6 y a los 12 meses después de la cirugía.

- Valorar en qué medida el ROM de la flexión dorsal de tobillo, la fuerza de la cadera y las variables clínicas como el tiempo de inmovilización, el período de descarga y el tiempo de rehabilitación, estaban relacionadas con el restablecimiento del equilibrio de las personas con fractura bimalleolar de tobillo a los 12 meses después de la cirugía.
- Valorar en qué medida el equilibrio, el ROM de la flexión dorsal de tobillo, la fuerza de la cadera y las variables clínicas como el tiempo de inmovilización, el período de descarga y el tiempo de rehabilitación, predicen los resultados de los cuestionarios OMAS y AOFAS_{AH} a los 12 meses después de la cirugía.
- Valorar si ciertas variables clínicas como el tiempo de inmovilización, el tiempo de descarga o el tiempo de rehabilitación afectaban a la restauración del ROM de flexión dorsal de tobillo o de la fuerza de la cadera a los 12 meses después de la cirugía.

Trabajo 3: Cambios en la estrategia motora y control neuromuscular durante las tareas de equilibrio en personas con fractura bimalleolar de tobillo

- Describir el patrón neuromuscular y las estrategias compensatorias durante las pruebas que valoran el equilibrio estático y dinámico, en personas que han sufrido una fractura bimalleolar de tobillo después de la cirugía a medio (6 meses) y a largo (12 meses) plazo.
- Comparar el patrón neuromuscular con su extremidad no operada durante las tareas que valoran el equilibrio estático y dinámico.
- Evaluar si existe relación entre el patrón neuromuscular, los déficits de equilibrio y los déficits musculoesqueléticos detectados en esta población.

2.3. Hipótesis de investigación

A continuación, se presentan las hipótesis de los tres trabajos de esta tesis doctoral:

Trabajo 1:

1. Son múltiples los estudios que destacan el Y- Balance Test (Plisky et al., 2009) por su facilidad de uso, su bajo coste, además de por su fiabilidad para medir el equilibrio dinámico. Este test ha sido ampliamente utilizado en el ámbito deportivo para detectar el riesgo de lesionarse que tienen los deportistas, (Hertel et al., 2006; Plisky et al., 2006) presentando una alta fiabilidad intra (0.85 – 0.91) e inter-observador (0.99 – 1.00) (Plisky et al., 2009). Además, ha sido aplicado en otras poblaciones como en niños (Barati et al., 2013; Faigenbaum et al., 2014, 2015) y se ha establecido como un instrumento válido para detectar pacientes con inestabilidad crónica de tobillo (Hertel et al., 2006; Hubbard et al., 2007b; Thompson et al., 2018). También cabe destacar que ha sido utilizado como una herramienta predictor y de control de la recuperación funcional posquirúrgica de los pacientes con reconstrucción de ligamento cruzado anterior (Earl & Hertel, 2001; Garrison et al., 2015; Norris & Trudelle-Jackson, 2011). *En base a los resultados de estos estudios, nuestra hipótesis es que el YBT es una herramienta fiable para la valoración del equilibrio dinámico después de la cirugía de personas que han sufrido una fractura de tobillo.*
2. En la literatura se recoge como las personas que han sufrido una fractura de tobillo presentan una serie de alteraciones funcionales después de la cirugía y del periodo de inmovilización, como pueden ser dolor, rigidez, reducción del rango de movimiento articular del tobillo especialmente la flexión dorsal, la alteración de las partes blandas, una reducción de la propiocepción o una disminución de la fuerza muscular entre otras, que a su vez repercuten de manera directa en el equilibrio (Dudek et al., 2014; Giannini et al., 2010; Masood et al., 2014; Nilsson et al., 2006; Quagliarella et al., 2010). *Dados estos hallazgos, hipotetizamos que las personas con fractura maleolar de tobillo y después de la cirugía presentan diferencias en el equilibrio dinámico, evaluado con el YBT observables en una menor distancia de alcance durante las tres direcciones de la prueba: anterior,*

posteromedial y posterolateral, así como en la puntuación compuesta del test (composite score) cuando realizan el test con la extremidad operada como la extremidad de apoyo.

Trabajo 2:

1. Es frecuente que los pacientes después de la cirugía sigan con molestias y tengan secuelas tiempo después de la cirugía (Albin et al., 2019; Egol et al., 2006; Segal et al., 2014; Vilá y Rico et al., 2016). En este sentido, existen controversias en la literatura ya que algunos autores muestran que una década después de la fractura la mayoría de las personas no presentan dolor o restricciones en la funcionalidad (Regan et al., 2016). Sin embargo otros autores observaron que tras un año de la cirugía los pacientes con una fractura bimalleolar o trimaleolar presentaban unos peores resultados funcionales frente a otros tipos de fracturas de tobillo (Tejwani et al., 2007). *Debido a la incertidumbre sobre el tiempo en el que tardan en recuperarse estos pacientes, nosotros hipotetizamos que, después de la cirugía, las personas con fractura maleolar de tobillo, presentan diferencias en el equilibrio estático, observables en la variación del recorrido y en la velocidad del desplazamiento del centro de presiones (CoP) y en la longitud en función a las dimensiones de la superficie (ratio longitud/superficie; LFS) en las tareas de equilibrio estático tiempo después de la cirugía. Asimismo, presentan diferencias en el equilibrio dinámico, evaluado con el YBT, observables en una menor distancia de alcance durante las tres direcciones de la prueba: anterior, posterolateral y posteromedial, así como en la puntuación compuesta del test (composite score) cuando la extremidad de apoyo es la extremidad operada. Estas diferencias estarán presentes hasta los 12 meses después de la cirugía, comparando los resultados con la extremidad no operada y con un grupo control.*
2. Se ha observado que una mala funcionalidad de la articulación del tobillo viene seguida por un debilitamiento de la musculatura de la cadera (Segal et al., 2014). *Por ello, nuestra hipótesis es que las personas con fractura maleolar de tobillo, después de la cirugía y un periodo prolongado de inmovilización, presentan un déficit de la movilidad del tobillo en flexión dorsal y un déficit de fuerza de la*

musculatura abductora y aductora de la cadera de la extremidad inferior del tobillo operado en comparación con el lado sano (no operado) y con un grupo control hasta los 12 meses después de la cirugía.

3. Trabajos previos han vinculado ciertas condiciones musculoesqueléticas del pie y del tobillo, especialmente una limitación en el ROM de flexión dorsal, con un peor equilibrio (Albin et al., 2019). Esta relación se apoya en hallazgos previos observados tanto en poblaciones sanas como en personas con inestabilidad crónica de tobillo. Concretamente, una reducción del ROM de flexión dorsal del tobillo parece asociada a un alteración de la cinemática de las extremidades inferiores durante acciones dinámicas unipodales primordialmente desarrolladas en el plano sagital como durante las tareas de alcance o de recepción, comprometiendo de esta forma el equilibrio (Basnett et al., 2013; Hoch et al., 2015; Terada et al., 2014). Además las alteraciones del equilibrio parecen estar asociadas no sólo a la disfunción del tobillo, sino también a la debilidad colateral de la musculatura de la extremidad inferior, por ejemplo, de los músculos de la cadera (Bisson et al., 2011; M.-K. Kim & Kim, 2015). La coordinación entre el complejo neuromuscular de la cadera y del tobillo es esencial para la correcta estabilidad postural, especialmente en tareas en las que la base de apoyo es reducida (Bisson et al., 2011; M.-K. Kim & Kim, 2015). *En base a estos estudios y a lo expuesto anteriormente, hipotetizamos que los déficits detectados del ROM de flexión dorsal de tobillo y de la fuerza de la musculatura de la cadera de la extremidad inferior del tobillo operado afectan al rendimiento del equilibrio en las personas que han sufrido una fractura maleolar de tobillo después de la cirugía.*

4. *Asimismo, hipotetizamos que estas capacidades físicas alteradas (i.e., ROM de flexión dorsal o fuerza de la musculatura de la cadera) después de la cirugía tendrán un impacto en la restauración del equilibrio presentando mejor nivel de equilibrio aquellas personas en las que la restauración de estas capacidades físicas sea mayor.*

5. Muchos de los ensayos clínicos realizados en personas con una fractura de tobillo utilizan medidas de resultado reportado por el paciente (PROMs) como una de las principales variables de respuesta para evaluar la eficacia de la intervención o la evolución de la patología. Son múltiples los PROMs utilizados en este ámbito como el Olerud-Molander Ankle Score (OMAS) (McKeown et al., 2019; Olerud & Molander, 1984). Otros instrumentos como el American Orthopaedic Foot and Ankle Society, Ankle-Hindfoot score (AOFAS_{AH}) (Kitaoka et al., 1994) también son utilizados en la investigación y en el ámbito clínico. En concreto, el AOFAS_{AH} es una importante “clinical rating” utilizada habitualmente por los médicos para evaluar tras la cirugía de fracturas de tobillo los resultados clínicos. Combina puntuaciones subjetivas con puntuaciones objetivas basadas en la exploración física del paciente por parte del cirujano (Albin et al., 2019; de Boer et al., 2017; Terada et al., 2014). Aunque estos instrumentos han demostrado su utilidad, actualmente no existen métodos bien establecidos para evaluar objetivamente el progreso de la rehabilitación de un paciente, por lo que se necesita un enfoque más cuantitativo que proporcione información objetiva y reproducible. Por ello, creemos que es importante valorar si el resultado de estos cuestionarios se correlaciona con los resultados cuantitativos del ROM de flexión dorsal, de fuerza de la cadera, de los perímetros bimalleolar y de la pantorrilla y del equilibrio. *nuestra hipótesis es que las medidas cuantitativas del ROM de flexión dorsal, de fuerza de la cadera, de los perímetros bimalleolar y de la pantorrilla y los resultados del equilibrio se verán relacionadas con los resultados de estos cuestionarios implicando que un mejor rendimiento en estas mediciones se asocia con unos mejores resultados en estos instrumentos.*

6. Teniendo en cuenta varios argumentos que se recogen en la literatura como: a) que tras el protocolo postquirúrgico es frecuente que el paciente experimente entre otras alteraciones; dolor, hinchazón del tobillo y rigidez del tobillo (Albin et al., 2019; Lin et al., 2009, 2012; Segal et al., 2014; Stufkens et al., 2011; Tomé-Bermejo et al., 2016; van der Sluis et al., 1998); b) la implicación que el ROM de flexión dorsal tiene en el correcto desarrollo de otras actividades funcionales como la marcha, subir o bajar escaleras o el equilibrio (Albin et al., 2019; Brockett & Chapman, 2016; Hoch et al., 2011; S.-G. Kim & Kim, 2018; Terada et al., 2014);

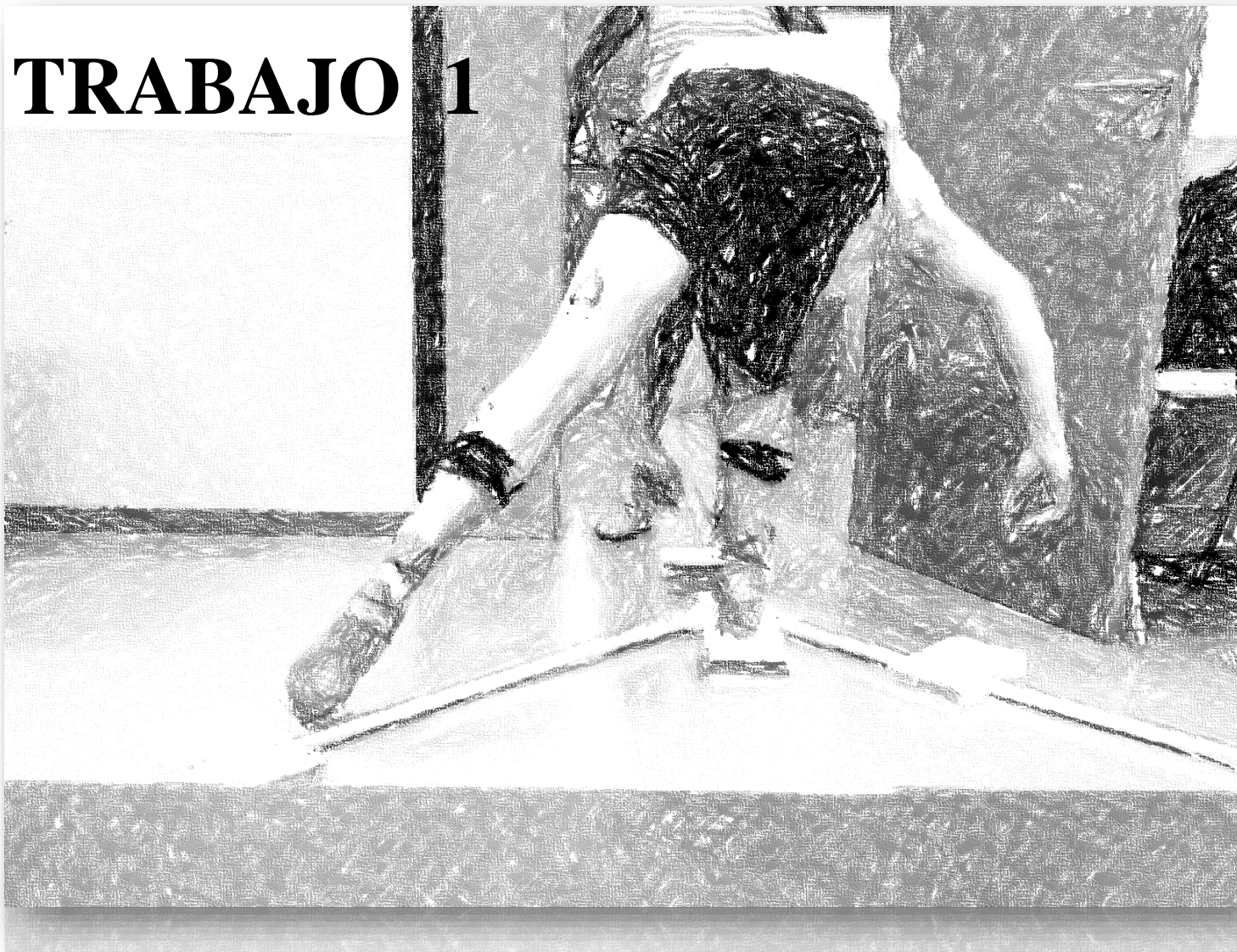
c) no existen evidencias claras en cuanto a los beneficios o efectos secundarios que puede tener un tratamiento precoz durante la fase de inmovilización (Jansen et al., 2017; Lin et al., 2012; Smeeing et al., 2015). En base a ello se considera esencial valorar si estas variables tienen un impacto en la restauración del ROM de flexión dorsal y de la fuerza de la musculatura de la cadera (si existen déficits) a largo plazo por ello, *nuestra hipótesis es que existe una mayor limitación del movimiento de flexión dorsal y un mayor déficit de fuerza de cadera en aquellas personas que después de la cirugía por una fractura maleolar de tobillo hayan tenido periodos más largos de inmovilización y de descarga.*

Trabajo 3:

1. Pese a no haber estudios previos que evalúen el comportamiento neuromuscular en las tareas de equilibrio en pacientes con fracturas de tobillo, estudios realizados con EMG en otras poblaciones con lesiones de tobillo han detectado patrones alterados de activación muscular durante diversas tareas funcionales y/o de equilibrio como, por ejemplo, retrasos en la activación en el peroneo o en el tibial anterior (Jaber et al., 2018; Molina-Rueda et al., 2021; Van Deun et al., 2007; Webster et al., 2016). Además, ciertos cambios neuromusculares también han sido detectados en zonas remotas a la lesión como en los músculos de la rodilla o de la cadera (Jaber et al., 2018; Webster & Gribble, 2013). En base a los hallazgos detectados en otras poblaciones con lesión de tobillo, así como a las características propias de los pacientes con fracturas de tobillo después de la cirugía, *hipotetizamos que tras una fractura maleolar de tobillo también se dan cambios neuromusculares en la extremidad inferior operada y que estos contribuyen a los déficits de equilibrio detectados previamente en esta población* (Ward et al., 2015).
2. *Asimismo, consideramos que existe una relación entre los déficits musculoesqueléticos (limitación del ROM de flexión dorsal de tobillo o déficits de fuerza de la cadera) que presenta esta población y los patrones neuromusculares durante las tareas de equilibrio.*

CAPÍTULO 3

TRABAJO 1

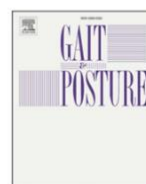


ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Gait & Posture

journal homepage: www.elsevier.com/locate/gaitpost



Full length article

Quantifying balance deficit in people with ankle fracture six months after surgical intervention through the Y-Balance test

Diana Salas-Gómez^{a,b,*}, Mario Fernández-Gorgojo^{a,b,*}, Pascual Sanchez-Juan^{a,c},
Esther Laguna Bercero^{b,d}, M^a Isabel Perez- Núñez^{b,d}, David Barbado^e

^a Gimbernat-Cantabria Research Unit (SUIGC), University Schools Gimbernat-Cantabria, Attached to the University of Cantabria, 39300, Torrelavega, Spain

^b University Schools Gimbernat-Cantabria, Attached to the University of Cantabria, 39300, Torrelavega, Spain

^c Service of Neurology, University Hospital "Marqués de Valdecilla", University of Cantabria (UC), CIBERNED, IDIVAL, Santander, 39008, Cantabria, Spain

^d Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología, Unidad de Traumatología, Hospital Universitario Marqués de Valdecilla, Santander, 39008, Cantabria, Spain

^e Sports Research Centre, Sport Science Department, Miguel Hernández University of Elche, 03202, Elche, Alicante, Spain

*El siguiente trabajo forma parte del artículo publicado en Gait & Posture con el título: *“Quantifying balance deficit in people with ankle fracture six months after surgical intervention through the Y-Balance test”*

CAPÍTULO 3. TRABAJO 1

Cuantificando los déficits de equilibrio en personas con fractura bimalleolar de tobillo a los 6 meses después de la cirugía mediante el Y-balance test

3.1 Introducción

Las lesiones ortopédicas traumáticas, incluyendo las fracturas de tobillo, tienen un profundo impacto socioeconómico, especialmente durante el primer año después de la lesión (O’Hara et al., 2020). En particular, se debe recordar que las fracturas de tobillo están entre las fracturas traumáticas más frecuentes con una incidencia que oscila entre 71-187 por cada 100.000 habitantes/año (Juto et al., 2018). El tratamiento quirúrgico se recomienda en aquellos casos en los que existe un desplazamiento de los fragmentos óseos y el tratamiento conservador no puede asegurar la restauración anatómica y la estabilidad de la fractura (Donken et al., 2012). Después de la cirugía, es frecuente que el paciente presente alteraciones biomecánicas y funcionales en el tobillo (Lin et al., 2012) tales como dolor, rigidez, reducción del rango de movimiento (ROM) de la articulación del tobillo, alteración de los tejidos blandos, deterioro de la propiocepción y debilidad muscular, lo que, a su vez, puede afectar a otras actividades funcionales alterando el patrón de marcha y causando trastornos en el equilibrio (Albin et al., 2019; Dudek et al., 2014). Normalmente el período de discapacidad suele ser mucho más largo que el tiempo en que tardan en curarse las estructuras óseas y los tejidos conectivos y ligamentosos, llegando a prolongarse este periodo de discapacidad hasta años después de la cirugía (van der Sluis et al., 1998). Cuanto mayor es la gravedad de la lesión, la complejidad de la cirugía y el tiempo de inmovilización, más severas y duraderas son estas alteraciones, lo que a su vez, puede conducir a diferentes condiciones patológicas como la artrosis (Donken et al., 2012).

Entre las consecuencias físicas de las fracturas de tobillo, las alteraciones del equilibrio tienen un profundo impacto en la marcha y en la movilidad funcional de las personas

(Dudek et al., 2014) haciendo que aumente la inseguridad que perciben los pacientes y tengan miedo a realizar diversas tareas como caminar (Dudek et al., 2014). Por tanto, las alteraciones del equilibrio limitan el desempeño de las actividades de la vida diaria y a consecuencia, tiene una repercusión negativa en la calidad de vida (Albin et al., 2019; McPhail et al., 2012; Nilsson et al., 2007).

En base a la relevancia que tiene el equilibrio en la movilidad y en la funcionalidad, a nivel clínico, es crucial monitorizar el estado del equilibrio de los pacientes con objeto de modular y optimizar los programas de rehabilitación (Dudek et al., 2014). Detectar los déficits de equilibrio en esta población y poder realizar un abordaje específico de ellos es crucial en la rehabilitación postoperatoria de las fracturas de tobillo ya que el restablecimiento de esta habilidad tiene un fuerte impacto positivo en el resultado clínico del tratamiento y en la calidad de vida del paciente (Dudek et al., 2014).

Concretamente la evaluación del equilibrio en posición de apoyo sobre una extremidad (unipodal) clínicamente es muy relevante ya que las actividades unipodales son un componente clave de casi todos los movimientos funcionales (Jaber et al., 2018). Diversos estudios han evaluado el equilibrio estático unipodal en tareas estabilométricas o posturográficas en pacientes tras una fractura de tobillo (Dudek et al., 2014; Nilsson et al., 2006; Wang et al., 2016), sin embargo, hasta donde saben los autores, no se aplican pruebas clínicas fiables para evaluar el equilibrio dinámico en los pacientes sometidos a un tratamiento quirúrgico del tobillo tras fracturas de tobillo.

Entre los diversos test de equilibrio unipodales disponibles, el Y-Balance Test (YBT) es de los más utilizados en otras poblaciones para evaluar el equilibrio dinámico (Plisky et al., 2009; Smith et al., 2015). El YBT ha sido ampliamente utilizado en otras poblaciones ya que es un instrumento con una fiabilidad elevada, es barato y fácil de usar (Faigenbaum et al., 2014; Hertel et al., 2006; Plisky et al., 2006, 2009). El Y-Balance Test™ (Move2Perform, Evansville, IN, USA) es una versión instrumentada de los componentes del Star excursión Balance test (SEBT) que fue desarrollada para abordar algunas de las limitaciones metodológicas de esta prueba y mejorar así la reproductibilidad de las mediciones y estandarizar la realización de la prueba (Hertel et al., 2006; Plisky et al., 2009, 2009). El YBT cuantifica el equilibrio dinámico mediante una tarea de alcance sobre la extremidad contraria (apoyo unipodal). Un rendimiento adecuado en el YBT depende de una combinación óptima de varios factores como del rango de movimiento

(ROM), la flexibilidad, del control neuromuscular y de la fuerza de los músculos del tobillo, de la rodilla y de la cadera (Fullam et al., 2014). El YBT ha sido utilizado principalmente en el campo del deporte para determinar el riesgo que presentan los deportistas de lesionarse (Plisky et al., 2006), para identificar a las personas con inestabilidad crónica de tobillo (Hertel et al., 2006), o para monitorizar la rehabilitación de algunas lesiones (por ejemplo, después de una cirugía del ligamento cruzado anterior, esguinces de tobillo, etc.) (Garrison et al., 2015). En un estudio reciente, el SEBT (es decir, el predecesor del YBT) fue utilizado para evaluar si la terapia manual induce mejoras en el equilibrio en personas que se someten a una fijación quirúrgica del tobillo tras una fractura (Albin et al., 2019). Sin embargo, aún se desconoce si el YBT es lo suficientemente fiable para el seguimiento clínico del estado del equilibrio en estos pacientes.

Por lo tanto, debido a la falta de herramientas clínicas para la monitorización del estado del equilibrio dinámico en las personas que han sufrido una fractura de tobillo, los principales objetivos de este trabajo fueron analizar la capacidad del YBT para 1) proporcionar valores de referencia que ayuden a identificar si los cambios durante la rehabilitación son causados por el tratamiento o por la variabilidad intra-sujeto (es decir, fiabilidad absoluta); y 2) clasificar a las personas con fractura de tobillo según su estado de equilibrio (es decir, fiabilidad relativa). Como segundo objetivo, evaluamos la capacidad del YBT para cuantificar las diferencias entre las extremidades inferiores (operada vs no operada) a los 6 meses después de la cirugía.

3.2 Método

Fue realizado un trabajo de corte transversal con personas con fractura de tobillo evaluados a los 6 meses después de la cirugía.

3.2.1 Participantes

22 participantes (10 mujeres/12 hombres) participaron en este trabajo (Tabla 1). Para el reclutamiento de la muestra se solicitó colaboración a la unidad de traumatología del Hospital Universitario Marqués de Valdecilla, Universidad de Cantabria (UC). Los participantes fueron seleccionados a través de sus historias clínicas e invitados a participar personalmente por su cirujano durante las consultas médicas después de la cirugía. Fueron incluidos aquellas personas intervenidas quirúrgicamente tras fracturas maleolares de

tobillo con un mínimo de 6 meses de evolución después de la cirugía. Todos ellos habían sido operados por los mismos cirujanos de la unidad de traumatología del Hospital Universitario Marqués de Valdecilla, Universidad de Cantabria (UC). La técnica quirúrgica utilizada fue la reducción abierta y la fijación interna (RAFI). El protocolo postoperatorio fue el siguiente: durante las primeras 6 semanas, el programa de rehabilitación consistió en estiramientos pasivos, kinesioterapia y ejercicios de fortalecimiento de la musculatura dorsiflexora del tobillo. Una vez que el equipo de cirujanos autorizó la fase de carga progresiva, los pacientes realizaron un programa de entrenamiento del equilibrio, propioceptivo y de la marcha. El Comité Ético de Investigación del Hospital aprobó este estudio (referencia: 2017.072) el cual fue realizado por investigadores ajenos al hospital (*ANEXO II*). Los pacientes no fueron incluidos en el estudio si: 1) habían sido sometidos a otras intervenciones quirúrgicas en las extremidades inferiores (por ejemplo, fracturas abiertas, o del pilón tibial); 2) presentaban alteraciones funcionales de la extremidad inferior no operada; 3) presentaban alguna patología neurológica o reumatológica; 4) eran menores de 18 años o mayores de 55 años. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de todos los participantes antes de la recopilación de datos (*ANEXO II*). Además, se registraron datos clínicos de los pacientes, que fueron extraídos de las historias clínicas, los cuales fueron facilitados por sus cirujanos. Concretamente se registró el tipo de fractura según la Foundation OA and the Orthopaedic Trauma Association (OA-OTA) (Meinberg et al., 2018), el tiempo de inmovilización, el periodo de descarga o el tiempo de rehabilitación así como otras variables (toma de corticoides, presencia de diabetes mellitus, presencia de arteriopatía, tipo de RAFI, mecanismo lesional o complicaciones postquirúrgicas) (tabla 1).

Tabla 1. Características sociodemográficas, antropométricas y del estado funcional del tobillo de las personas con fractura de tobillo

N=22	Media ± SD	95% IC
Edad (años)	43.5 ± 10.2	(39.0; 48.0)
Sexo % mujeres	42.9	
Altura (cm)	169.3 ± 9.5	(164.8; 173.7)
Peso (kg)	77.8 ± 16.6	(69.9; 85.5)
Longitud de la extremidad operada (cm)	85.6 ± 5.9	(82.9; 88.2)
Longitud de la extremidad no operada (cm)	85.6 ± 5.9	(82.9; 88.2)
Días desde la lesión hasta la cirugía	4.8 ± 7.6	(1.4; 8.1)
AOFAS _{AH}	74.7 ± 12.0	(69.4; 80.0)
OMAS	57.0 ± 21.6	(47.4; 66.6)
Inmovilización (semanas)	3.4 ± 1.2	(2.8; 3.9)
Duración de la rehabilitación (meses)	3.3 ± 2.4	(2.0; 4.1)
Frecuencia traumatismos baja energía (%)	85.5	
Fractura transindesmales (%) (44B)	68.2	
RAFI más empleada (% placa en peroné con tornillo interfragmentario)	33.3	
Toma de corticoides (% no)	95	
Arteriopatía (% no)	100	
Diabetes (% no)	100	
Complicaciones (% no)	95	

SD: desviación estándar; 44B: fractura transindesmal según la clasificación de fracturas y luxaciones de la AO-OTA; RAFI: reducción abierta y fijación interna; IC: intervalo de confianza; cm: centímetros; %: porcentaje; kg: kilogramos

3.2.2 Procedimiento

Una vez transcurridos 6 meses después de la cirugía los investigadores se pusieron en contacto telefónico con los participantes que previamente habían accedido a participar y se concertó un día y hora para la valoración, la cual tuvo lugar en el laboratorio de análisis del movimiento de las Escuelas Universitarias Gimbernat-Cantabria (adscritas a la Universidad de Cantabria). Sus datos de contacto y personales fueron facilitados a los investigadores por los cirujanos. Se elaboró un cuaderno ad hoc para la recogida de datos (ANEXO III). Se evaluó el estado funcional de cada participante a través del cuestionario “Ankle-Hindfoot score” de la American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS_{AH}) (Kitaoka et al., 1994; Segal et al., 2014) y del cuestionario “Olerud Molander Ankle Score” (OMAS) (Nilsson et al., 2007) (ANEXO IV). Asimismo, se recogió la longitud de ambas extremidades con una cinta métrica (tabla 1) (Alnahdi et al., 2015).

Evaluación de la longitud de la extremidad

Para la medición de la longitud de la extremidad, cada participante se colocó decúbito supino en la camilla. En primer lugar, con las rodillas flexionadas y los pies completamente apoyados en la camilla. Se les pidió que elevaran sus caderas y posteriormente las bajasen. Posteriormente el investigador extendió pasivamente ambas extremidades inferiores quedando la pelvis alineada. Finalmente se procedió a medir la longitud de cada extremidad inferior (operada y no operada) desde la espina iliaca anterosuperior hasta la parte más distal del maléolo interno (Alnahdi et al., 2015; Smith et al., 2015). La medición se registró en centímetros. En la figura 7 se muestra la posición para la medición de la extremidad inferior.



Figura 7. Protocolo de la medición de la longitud de la extremidad inferior.

Evaluación del equilibrio dinámico (Y-Balance test)

Posteriormente, se realizó el YBT (Y-Balance Test Kit, Move2Perform, Evansville, IN, USA) (Plisky et al., 2009). El kit de herramientas utilizado para realizar el YBT consiste en una placa de plástico central sobre la que se debe colocar el pie de apoyo (sobre el que se mantendrá el equilibrio unipodal), con tres tubos fijados en las direcciones anterior, posteromedial y posterolateral. Los dos tubos posteriores están colocados a 135° del tubo anterior y manteniendo un ángulo de 45° entre los tubos posteriores. Para una medición

más precisa, cada tubo está marcado en incrementos de 5 milímetros con líneas cortas y de un centímetro con líneas más largas. Cada tubo tiene además una caja de plástico (indicador de alcance) que se puede mover a lo largo del tubo. De acuerdo a estudios previos (Plisky et al., 2009), para realizar el YBT los participantes estando descalzos debían mantener el equilibrio sobre una sola extremidad, y mover la caja de plástico lo más lejos posible utilizando su pie libre y luego volver al punto de partida sin perder el equilibrio y sin levantar el talón de la extremidad de apoyo. La parte más anterior del pie de apoyo debía permanecer alineado con una marca de partida situada en la placa central. Antes de la prueba, se hizo una demostración visual y una explicación de cómo realizar el test en cada dirección por parte siempre del mismo investigador. Se permitieron dos intentos de familiarización en cada dirección hasta que los participantes se sintieron cómodos con el protocolo. Durante la prueba, se permitió a los participantes hacer suficientes intentos hasta que pudieron realizar dos ensayos válidos. Un ensayo era considerado nulo si el participante: i) perdía el equilibrio, ii) se apoyaba en la parte superior de la caja para llegar más lejos; iii) golpeaba la caja perdiendo el contacto con ella, iv) perdía el contacto con la caja durante la fase de empuje o v) o no lograba devolver el pie de alcance a la posición inicial sin perder el equilibrio. Para evitar la fatiga, las pruebas se alternaron entre la extremidad no operada y la operada. El tiempo de descanso entre las pruebas fue de 20 segundos. La distancia alcanzada en cada dirección se registró en centímetros y fue posteriormente normalizada (%) en función de la longitud de la extremidad de cada paciente (Gribble & Hertel, 2003). Además, se calculó el grado de asimetría de cada paciente como la diferencia entre la distancia máxima alcanzada de ambas extremidades observada en cada dirección del YBT. Por último, se calculó una puntuación compuesta como el promedio de la distancia normalizada máxima alcanzada en las tres direcciones. En la figura 8 se muestra el instrumento indicando cada uno de sus componentes, así como la ejecución en una de las direcciones del YBT (anterior) llevada a cabo por una persona sana.

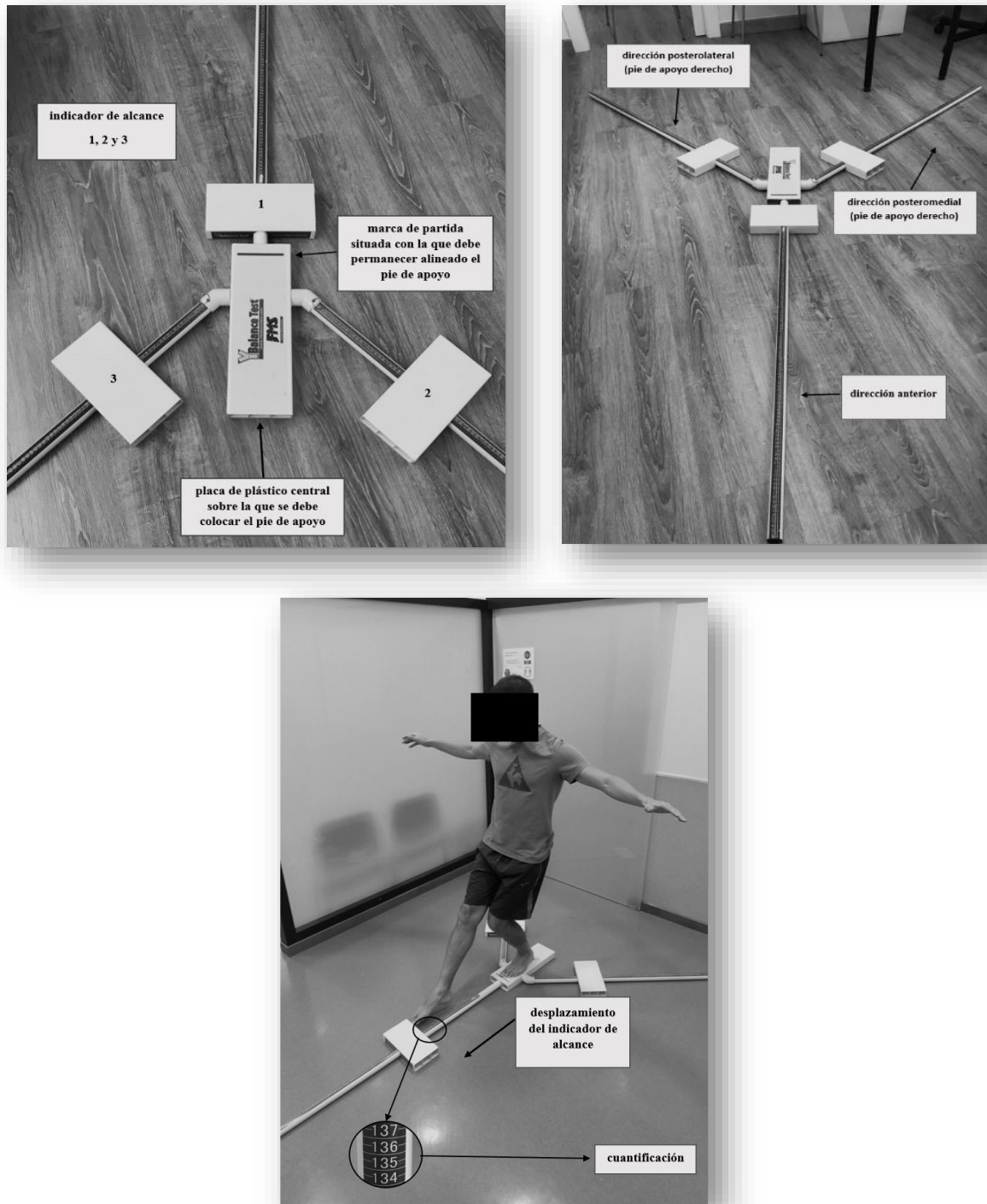


Figura 8. Y-Balance Test Kit, Move2Perform, Evansville, IN, USA). Arriba a la izquierda se observan los componentes del test kit; arriba a la derecha se observan los tubos del YBT en sus tres direcciones; abajo se observa la ejecución del test (como se desplaza la placa de alcance) en la dirección anterior

3.2.3 Análisis estadístico

Se calcularon los estadísticos descriptivos en todas las variables [media y desviación estándar (SD por sus siglas en inglés)]. La normalidad de los datos fue analizada usando la prueba de Shapiro-Wilk. Las variables sociodemográficas y clínicas fueron utilizadas para caracterizar a la muestra. En posteriores trabajos se analizan.

La fiabilidad intra-sesión de cada parámetro del YBT se calculó usando los dos ensayos válidos. La fiabilidad relativa de cada medida del YBT se evaluó mediante el ICC_{2,1} e interpretándose de la siguiente manera: excelente (0.90-1.00), alta (0.70-0.89), moderada (0.50-0.69) y baja (<0.50) (Fleiss, 1986). Para el análisis de la fiabilidad absoluta se calculó el error estándar de medición (SEM por sus siglas en inglés) y el cambio mínimo detectable (MDC por sus siglas en inglés) con un intervalo de confianza del 95% (Hopkins, 2000; Hopkins et al., 2009). El SEM se calculó como la desviación estándar de la diferencia entre el ensayo 1 y 2, dividida por $\sqrt{2}$ y expresado en porcentaje. Este método para calcular el SEM se seleccionó para evitar la influencia de la heterogeneidad de la muestra y para reducir el efecto del error sistemático (por ejemplo, el efecto del aprendizaje) (Fleiss, 1986).

Para analizar las diferencias del YBT entre las extremidades (operada vs no operada), se realizó una prueba *t* de Student para muestras emparejadas. Asimismo, se calculó la *g* de Hedges (*g*) para cuantificar la magnitud de la diferencia entre las extremidades (Hedges & Olkin, 1985). La *g* de Hedges es un índice de tamaño del efecto basado en la diferencia media estandarizada de Cohen, que reduce el sesgo causado por muestras pequeñas ($n < 20$) (Cohen, 1988; Hedges & Olkin, 1985). Los valores del tamaño del efecto fueron interpretados como triviales ($g < 0.2$), pequeños ($0.2 \leq g < 0.5$), moderados ($0.5 \leq g < 0.8$) y grandes ($g \geq 0.8$) (Cohen, 1988; Hedges & Olkin, 1985). Para la *g* de Hedges, las puntuaciones negativas indican un menor rendimiento de la extremidad operada en comparación con la extremidad no operada. También se realizaron pruebas *t* de Student para evaluar qué dirección del YBT mostraba un mayor grado de asimetría. Para el análisis de las diferencias entre la extremidad operada y la no operada, así como para el análisis de las asimetrías, se realizaron con la máxima distancia alcanzada en los ensayos válidos en cada extremidad y en cada dirección.

El SEM, el ICC_{2,1}, y las pruebas *t* de Student fueron realizadas mediante el paquete estadístico para las ciencias sociales SPSS (versión 22 para Windows, SPSS Inc, Chicago, IL, USA). El nivel de significación de los análisis se estableció en $p < 0.05$.

Antes de realizar los análisis, se utilizó el software GPower 3.1.53 para calcular el tamaño muestral mínimo necesario para detectar resultados significativos. En base a la estimación del tamaño del efecto ($g=0.7$) calculado a partir de estudios anteriores (Albin et al., 2019; Painter et al., 2015) se determinó que era necesario un tamaño muestral de 19 participantes para detectar las diferencias entre extremidades (potencia=80%; $\alpha=0.05$). Se reclutaron 22 pacientes para permitir una tasa de abandono de hasta el 10%.

3.3 Resultados

22 participantes (personas con fractura maleolar de tobillo intervenidas quirúrgicamente hace 6 meses) (10 mujeres/12 hombres) participaron en el estudio. La edad media fue de 43.5 ± 10.2 con un rango de 19 a 55 años. La media de días desde la fractura hasta la cirugía fue de 4.7 ± 7.6 , con un rango de 0 a 30 días. Los mecanismos lesionales fueron el 14% torceduras de tobillo, el 62% de caídas, el 9.5% de accidentes de tráfico, el 9.5% también fueron caídas con torceduras de tobillo y sólo 1 persona, el 4.8% fue durante la práctica deportiva. Siguiendo la clasificación de la OA-OTA las fracturas fueron; infrasindesmales 44A (n=1, 4.5%), transíndesmales 44B (n=15, 68.2%) y suprasindesmales 44C (n=6, 27.3%). Además, todas ellas tenían asociada una fractura o lesión medial por lo que son consideradas fracturas bimalleolares. Concretamente 1 el 4.5% eran 44A.2, 3 el 13.6% eran 44B.1, 5 el 22.7% eran 44B.2, 7 el 31.8% eran 44B.3, 1 el 4.5% era 44C.1, 2 el 9.1% eran 44C.2 y 3 el 13.6% eran 44C.3 (ANEXO I para ver a que grupo pertenece cada código alfanumérico). El tiempo de inmovilización fue de 3.4 ± 1.2 semanas, con un rango de 1 a 6 semanas. Asimismo, se llevó a cabo un promedio de 3.3 ± 2.4 meses de rehabilitación. Los resultados del AOFAS_{AH} y OMAS fueron 74.7 ± 12.0 y 57.0 ± 21.6 respectivamente (Tabla 1)

Con relación a la fiabilidad del YBT para la evaluación del equilibrio dinámico en las personas operadas tras una fractura bimalleolar de tobillo, con su extremidad operada 21 de los 22 participantes (95.5%) pudieron completar los dos ensayos de la prueba en la dirección anterior (YBT_A), 20 de ellos (91%) en la dirección posteromedial (YBT_{PM}) y 19 de ellos (86.5%) en la dirección posterolateral (YBT_{PL}). Analizando la extremidad no

operada, 21 pacientes (95.5%) realizaron los dos ensayos en el YBT_A y en el YBT_{PM} y 20 participantes (91%) en el YBT_{PL}.

Como se muestra en la tabla 2, los parámetros del YBT mostraron una fiabilidad relativa entre alta y excelente intra-sesión (Extremidad no operada: $0.85 \leq ICC \leq 0.96$; Extremidad operada: $0.84 \leq ICC \leq 0.96$). Los análisis de fiabilidad absoluta mostraron que los valores de SEM estaban por debajo del 6% (Extremidad no operada: $1.8\% \leq SEM \leq 5.9\%$; Extremidad operada: $3.3\% \leq SEM \leq 5.4\%$). Los resultados del MDC fueron inferiores al 16.4%.

Tabla 2. Descriptivos (Media \pm SD) y fiabilidad intra-sesión test-retest del en personas con una fractura bimalleolar de tobillo a los 6 meses después de la cirugía

	Dirección	Participantes	Ensayo 1	Ensayo 2	ICC _{2,1} (95% IC)	SEM (unidades) (95% IC)	MDC (95% IC)
<i>Distancia de alcance obtenida del Y-Balance test normalizada por la longitud de la extremidad (%)</i>							
Extremidad no operada	Anterior	21	62.4 \pm 11.1	65.2 \pm 12.2	0.94 (0.55; 0.98)	1.8 (1.5; 2.5)	4.9 (4.2; 6.9)
	Posterolateral	20	98.0 \pm 16.0	101.3 \pm 15.4	0.85 (0.66; 0.94)	5.9 (4.7; 8.2)	16.4 (13.; 22.7)
	Posteromedial	21	99.7 \pm 13.8	104.0 \pm 14.3	0.89 (0.71; 0.96)	3.8 (3.1; 5.2)	10.5 (8.6; 14.4)
	Composite score	20	89.2 \pm 11.3	89.6 \pm 13.3	0.96 (0.90; 0.98)	2.3 (1.7; 0.4)	7.2 (3.9; 1.1)
Extremidad operada	Anterior	21	53.8 \pm 13.2	55.7 \pm 10.8	0.92 (0.81; 0.97)	3.3 (2.7; 4.6)	9.4 (7.5; 12.8)
	Posterolateral	19	92.3 \pm 16.2	98.4 \pm 15.1	0.84 (0.44; 0.95)	5.4 (4.2; 7.7)	14.9 (11.6; 21.3)
	Posteromedial	20	99.0 \pm 14.4	101.9 \pm 12.9	0.94 (0.85; 0.98)	3.3 (2.6; 4.6)	9.2 (7.2; 12.8)
	Composite score	19	82.2 \pm 13.0	85.4 \pm 12.7	0.96 (0.78; 0.99)	2.1 (2.9; 0.6)	5.8 (8.0; 1.7)

SD: desviación estándar; ICC: coeficiente de correlación intraclass; SEM: error estándar de medición; MDC: mínimo cambio detectable; IC: intervalo de confianza.

Analizando las diferencias entre extremidades (Tabla 3), la extremidad operada mostró valores significativamente inferiores en la dirección anterior (-9.0%; $g = -0.70$) y en la puntuación compuesta (composite score) (-4.5%; $g = -0.34$) del YBT. Además, se observó una mayor asimetría en el YBT_A en comparación con las otras direcciones del test ($p < 0.05$).

Tabla 3. Diferencias en el YBT entre la extremidad operada y la no operada de personas tras una fractura bimalleolar de tobillo, 6 meses después de la cirugía

	Extremidad operada	Extremidad no operada	p-valor	Diferencias entre las extremidades (unidades)	Hedges' g
	Media ± SD	Media ± SD		Media (95% IC)	
<i>Distancia de alcance obtenida del Y-Balance test normalizada por la longitud de la extremidad (%)</i>					
Anterior	56.2 ± 13.1	65.2 ± 12.2	<0.001	-9.0 (-12.5; -5.8)	-0.70
Posterolateral	98.5 ± 14.9	100.0 ± 16.0	0.09	-2.8 (-7.2; 1.6) ^A	-0.18
Posteromedial	101.2 ± 14.8	103.3 ± 14.2	0.20	-2.8 (-5.9; 0.4) ^A	-0.19
Composite score	85.8 ± 12.9	90.4 ± 1.6	0.001	-4.5 (-7.0; -2.1)	-0.34

SD: desviación estándar; IC: intervalo de confianza; A: diferencias con la dirección anterior.

3.4 Discusión

El principal objetivo de este trabajo fue proporcionar a clínicos e investigadores una herramienta para supervisar la recuperación del equilibrio dinámico unipodal en las personas que han sido sometidas a una cirugía tras una fractura bimalleolar de tobillo y cuantificar las diferencias entre las extremidades inferiores a los 6 meses después de la cirugía.

3.4.1 Fiabilidad del Y-Balance Test

En general, el YBT mostró una fiabilidad relativa de alta a excelente utilizando el ICC más exigente (ICC_{2,1}), incluso cuando el protocolo realizado fue más corto que en estudios anteriores (Linek et al., 2017; Plisky et al., 2009). En este caso se decidió realizar un protocolo más corto debido a que estos pacientes presentan secuelas postoperatorias que pueden afectar a la fiabilidad de la evaluación. En este caso, optamos por acortar el

registro para evitar en lo posible la aparición de dolor o fatiga. Aunque no existen estudios previos sobre la fiabilidad del YBT en esta población, nuestros resultados del ICC son coherentes con trabajos previos realizados en diversos grupos de deportistas como jugadores de baloncesto (Plisky et al., 2006) o en jóvenes futbolistas semiprofesionales (Linek et al., 2017). Todos estos hallazgos parecen respaldar la solidez del YBT para evaluar el equilibrio dinámico unipodal en una amplia gama de poblaciones, evitando el efecto techo y suelo.

Basándose en los resultados de la fiabilidad absoluta valorados con el SEM, se necesitan diferencias entre extremidades inferiores al 3.3% para la dirección anterior, 5.9% para la dirección posterolateral y 3.8% para la dirección posteromedial, para confirmar que la extremidad operada no presenta déficits de equilibrio dinámico después de la rehabilitación. Es decir; el resultado del SEM proporciona valores de referencia para discriminar entre la variabilidad aleatoria y el cambio real (por ejemplo, las asimetrías entre las extremidades o los efectos de la intervención). Hay que destacar que la mayoría de los valores de SEM (1.8%-5.9%) fueron similares a los reportados por otros autores: entre 3.5%-10.0% en niños (Faigenbaum et al., 2014) o entre 3.0%-4.6% en jugadores de baloncesto de la escuela secundaria (Plisky et al., 2006). La alta fiabilidad absoluta encontrada podría estar relacionada con el hecho de que el YBT impuso un alto desafío de equilibrio en esta población que requeriría un mayor esfuerzo neuromuscular para ejecutarlo, lo que se traduce en una baja variabilidad motora (Caballero et al., 2015).

3.4.2 La afectación en el equilibrio dinámico de la extremidad operada

Se analizaron las diferencias en el YBT entre ambas extremidades (operada vs no operada) para establecer que impacto en el equilibrio dinámico unipodal suponía la fractura bimalleolar de tobillo y la posterior cirugía. En la población no lesionada, las puntuaciones del YBT suelen mostrar diferencias no significativas entre extremidades (Gribble & Hertel, 2003). Por el contrario, confirmando los resultados posturográficos observados previamente en pacientes con cirugía de tobillo (Dudek et al., 2014), observamos un equilibrio dinámico significativamente menor en la extremidad operada pero sólo para la dirección anterior del YBT (-9.0%; $g=-0.70$), con un déficit aproximadamente tres veces mayor a los valores de SEM (3.3%). Este resultado es congruente con otros estudios que encontraron que la dirección anterior del YBT es la

más sensible para detectar asimetrías entre extremidades en el equilibrio dinámico (Stiffler et al., 2017). Curiosamente, la comparación de los resultados de este estudio con los hallazgos anteriores sugiere que las asimetrías de equilibrio encontradas en esta población a los 6 meses después de la cirugía son severas y, por lo tanto, pueden tener un profundo impacto en la independencia funcional y en la calidad de vida. Por un lado, las asimetrías observadas en la dirección anterior del YBT fueron casi el doble de las asimetrías mostradas en los jugadores de baloncesto con un historial de lesión en el tobillo (Ryu et al., 2019). Por otro lado, estas asimetrías fueron mucho mayores que las diferencias observadas entre los adultos con y sin inestabilidad crónica de tobillo ($\approx 5\%$) (DeJong et al., 2019). Además, estas diferencias observadas en la dirección anterior del YBT fueron de 8.43 cm en términos absolutos, valores mucho mayores que los valores de corte de 4 cm propuestos como un índice de riesgo de lesión de las extremidades inferiores en jugadores de baloncesto (Plisky et al., 2006). En este trabajo, las personas con fractura bimalleolar de tobillo a los 6 meses después de la cirugía también mostraron una puntuación compuesta del YBT más baja (85.8%) que la asociada previamente a un mayor riesgo de lesiones ($<89\%$) en jugadores de fútbol americano (Butler et al., 2013). Aunque este estudio no tiene como objetivo evaluar si los pacientes están en riesgo o no de lesión, estos hallazgos refuerzan la idea de que el equilibrio dinámico unipodal en esta población a los 6 meses después de la cirugía está lejos de tener unos valores normales. Los resultados de este estudio también señalan la relevancia de no sólo detectar los déficits de equilibrio, sino también de cuantificar su magnitud para monitorizar y optimizar los programas de rehabilitación. Estos datos son especialmente relevantes ya que estos pacientes han recibido un promedio de 3.3 ± 2.4 meses de rehabilitación. En este sentido, trabajos anteriores, han mostrado que una rehabilitación insuficiente podría ser una causa de discapacidad a largo plazo en estos pacientes (McPhail et al., 2012). Por tanto, parece necesario optimizar los tratamientos de rehabilitación y/o aumentar su duración para reducir estos déficits lo antes posible.

CAPÍTULO 4

TRABAJO 2



PUNTAJES PARA TOBILLO	
Actividad de la vida diaria. Limitación deportiva.	40 puntos
Limitación de actividades de la vida diaria y deportes. Bastón.	30
Más de 6.	20
4 - 6.	10
1 - 3.	0
C. SUPERFICIE DE MARCHA	
Menos de 1.	10
Crakquera	7
Algunas dificultades	4
Severa dificultad	0
D. ANORMALIDAD DEL PASO	
Ninguna.	5
Notable.	4
Marcada.	2
Severa.	0
E. MOVILIDAD SAGITAL	
Normal (30° o más).	5
Modesta restricción (15 - 29°).	3
Severa restricción (menos de 15°).	0
F. MOVILIDAD DEL RETROPIE (INVERSION - EVERSION)	
Normal (75 - 100 %).	8
Modesta restricción (25 - 74 %).	4
Severa restricción (menor de 25 %).	0
G. ESTABILIDAD DEL TOBILLO	
Estable.	8
Inestable.	4
ALENEACION	
Buena. Pie plantigrado. Pie y metatarsos bien alineados.	6
Regular. Pie plantigrado. Algunos grados de desalineación.	5
Mala. Pie no plantigrado. Severa desalineación.	0
TOTAL	100

 Journal of
Clinical Medicine

Article

Measuring Recovery and Understanding Long-Term Deficits in Balance, Ankle Mobility and Hip Strength in People after an Open Reduction and Internal Fixation of Bimalleolar Fracture and Their Impact on Functionality: A 12-Month Longitudinal Study

Diana Salas-Gómez, Mario Fernández-Gorgojo, Pascual Sánchez-Juan, M^a Isabel Pérez-Núñez, Esther Laguna-Bercero, Amaya Prat-Luri, David Barbado

**El siguiente trabajo forma parte del artículo publicado en “Journal of clinical medicine”:
Measuring recovery and understanding balance, ankle mobility and hip strength long-term deficits in people after an open reduction and internal fixation of bimalleolar fracture and their impact on functionality: a 12-month longitudinal study*

CAPÍTULO 4. TRABAJO 2

Comprendiendo los déficits de equilibrio, de la flexión dorsal del tobillo y de la fuerza de la cadera a largo plazo en personas con fractura bimalleolar de tobillo y su impacto en la funcionalidad

4.1 Introducción

Tal como se ha expuesto en capítulos anteriores, es frecuente que después de la cirugía de aquellas fracturas que la requieren y el proceso postquirúrgico (periodo de inmovilización, periodo de descarga de peso), varias capacidades físicas se ven afectadas (el rango de movimiento de tobillo, la fuerza, la propiocepción o el equilibrio entre otras) (Albin et al., 2019; Lin et al., 2012). Esto hace que la independencia funcional de la persona disminuya dificultando su capacidad para poder realizar las actividades de la vida diaria y aumentando también su miedo a tener otra caída (McKeown et al., 2020; McPhail et al., 2012). En cuanto al tiempo de recuperación, algunos estudios informan que años después de la cirugía los pacientes aún siguen presentando dolor, rigidez e hinchazón y ciertas discapacidades funcionales (Egol et al., 2000; Lash et al., 2002; Nilsson et al., 2006). Sin embargo, otros estudios informan que las personas con fractura de tobillo un año después de la cirugía presentan poco o leve dolor y poca restricción en las actividades (Egol et al., 2006; Regan et al., 2016). A pesar de su elevada incidencia y de las controversias en cuanto a la evolución de sus secuelas (Egol et al., 2000, 2006; Nilsson et al., 2003, 2007; Regan et al., 2016), existen pocos estudios sobre los efectos a largo plazo después de la cirugía de las personas con fractura de tobillo (Regan et al., 2016). En este sentido, muchos de los ensayos clínicos realizados en las personas con fractura de tobillo utilizan como unas de las principales variables para evaluar el resultado clínico las medidas de resultado informadas por el paciente (PROMs) como el Olerud Molander

Ankle Score (OMAS) (Olerud & Molander, 1984) o instrumentos mixtos, como el American Orthopedic Foot and Ankle Society, Ankle-Hindfoot score (AOFAS_{AH}) (Albin et al., 2019; Büker et al., 2019; Winter et al., 1990). Tanto el cuestionario OMAS como el AOFAS_{AH} analizan dominios relacionados con el dolor y la funcionalidad en las actividades de la vida diaria autopercebido por los pacientes. Además, el AOFAS_{AH} es una importante “clinical rating” utilizada habitualmente por los médicos para evaluar tras la cirugía de fracturas de tobillo los resultados clínicos. Combina puntuaciones subjetivas de dolor y función proporcionadas por el paciente con puntuaciones objetivas basadas en la exploración física del paciente por parte del cirujano como el movimiento sagital, el movimiento del retropié, la estabilidad del tobillo y el retropié y la alineación del tobillo y el retropié (Albin et al., 2019; de Boer et al., 2017; Terada et al., 2014). Aunque estos instrumentos han demostrado su utilidad, actualmente no existen métodos bien establecidos para evaluar objetivamente el progreso de la rehabilitación de un paciente, por lo que se necesita un enfoque más cuantitativo que proporcione información objetiva y reproducible. Realizar un análisis objetivo de cómo evolucionan las capacidades físicas a lo largo del tiempo y cómo se relacionan con la autopercepción de funcionalidad de los pacientes (es decir, el resultado proporcionado por los cuestionarios), ayudaría a los clínicos a comprender qué factores están relacionados con una mejor recuperación tras la fractura de tobillo y posterior cirugía.

Tal como se ha comentado previamente, uno de los factores más importantes que reducen la capacidad funcional tras una fractura de tobillo es la afectación del equilibrio (Dudek et al., 2014; McKeown et al., 2020; Nilsson et al., 2006). El equilibrio es una capacidad compleja y multidimensional (Kiss et al., 2018), muy dependiente de las condiciones en las que se evalúa. De esta forma, diversos estudios realizados en personas sanas han reportado que existe una baja correlación entre los resultados de equilibrio durante tareas estáticas y dinámicas o incluso entre diferentes tareas que evalúan el equilibrio dinámico (Coughlan et al., 2012; Karimi & Solomonidis, 2011; Pau et al., 2015). Estos resultados, junto con los encontrados en personas operadas de tobillo que mostraban un deterioro del equilibrio en diferentes tareas (Dudek et al., 2014; Nilsson et al., 2006), refuerzan la necesidad de realizar una batería de pruebas para evaluar el equilibrio que incluyan tareas dinámicas y estáticas para detectar cualquier déficit de equilibrio en estos pacientes. Además, los déficits de equilibrio se han relacionado con algunos factores causados directa o indirectamente por las fracturas de tobillo como son la limitación del rango de

movimiento (ROM) de la flexión dorsal del tobillo (FDT_{ROM}) o la reducción de la fuerza de la musculatura de la cadera. Unos valores inadecuados en ambos factores contribuyen a que la cinemática de la extremidad inferior se altere especialmente en tareas que requieren un apoyo unipodal (Albin et al., 2019; Basnett et al., 2013; Bisson et al., 2011; Gabriner et al., 2015; M.-K. Kim & Kim, 2015; Terada et al., 2014). Por ejemplo, en tareas con altas demandas de equilibrio, se requiere la participación coordinada de los músculos del tobillo y de la cadera para mantener el equilibrio (Bisson et al., 2011; M.-K. Kim & Kim, 2015). Asimismo, es importante el análisis de las asimetrías o desequilibrios entre las extremidades inferiores en cuanto a estos factores (ROM, fuerza o equilibrio) ya que, como se ha observado previamente en otras poblaciones, han sido asociados a un mayor riesgo de lesiones (Plisky et al., 2006).

Pese a que abordar los déficits de equilibrio, de fuerza o de movilidad son aspectos cruciales para cualquier programa de rehabilitación centrado en la restauración de la funcionalidad en las personas con fractura de tobillo, hasta la fecha, la escasa literatura que aborda esta cuestión nos impide saber hasta qué punto el deterioro de estas habilidades persiste en el tiempo después de la cirugía y hasta qué punto son determinantes para la recuperación de la capacidad funcional. Responder a estas cuestiones ayudaría a adaptar el programa de rehabilitación en función de las características de cada paciente optimizando así los programas de rehabilitación. Por lo tanto, el primer objetivo en este trabajo fue analizar la evolución del equilibrio estático y dinámico, del FDT_{ROM} y de la fuerza de la cadera en personas con fractura bimalleolar de tobillo de los 6 a los 12 meses después de la cirugía. Asimismo, se compararon los resultados de la extremidad operada y la no operada para valorar el grado de asimetría. Además, para obtener una información más completa, también se compararon las capacidades físicas de las personas con fractura bimalleolar de tobillo con un grupo de control de sujetos sanos.

Como el segundo objetivo, se evaluó hasta qué punto el FDT_{ROM} , la fuerza de la cadera y las variables clínicas, como el tiempo de inmovilización, el período de descarga o el tiempo de rehabilitación, estaban relacionadas con el restablecimiento del equilibrio en esta población a los 6 y a los 12 meses de la cirugía. Del mismo modo, se exploró la relación entre las capacidades físicas, las variables clínicas y los resultados de los cuestionarios OMAS y AOFAS_{AH} para comprender cómo la restauración del equilibrio,

del FDT_{ROM} y la fuerza de la cadera influyen en la percepción de la discapacidad y el dolor después de la cirugía de las personas que han sufrido una fractura bimalleolar de tobillo. Por último, debido al impacto del FDT_{ROM} y de la fuerza de la cadera en el equilibrio y en otras actividades funcionales, también se exploró hasta qué punto estas variables se veían afectadas por las variables clínicas.

4.2 Método

Se trató de un trabajo prospectivo longitudinal analítico como continuación del trabajo 1, que también se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis del Movimiento de las Escuelas Universitarias Gimbernat-Cantabria adscritas a la Universidad de Cantabria.

4.2.1 Participantes

El estudio fue realizado con la misma cohorte de sujetos que el capítulo anterior (ver capítulo 3, apartado 3.2.1 participantes, páginas 61-63). Los criterios de inclusión y exclusión también fueron los mismos. Asimismo, 10 participantes sanos de edades y sexo similares formaron parte del grupo de control (GC) en este trabajo. Como criterios de exclusión para formar parte del GC fueron; aquellas personas: 1) con intervenciones quirúrgicas previas en las extremidades inferiores; 2) con patología neurológica o reumatológica; 3) menores de 18 años y mayores de 55 años y 4) tener o haber tenido cualquier tipo de fracturas localizadas en la extremidad inferior. Las personas sanas fueron reclutadas vía “boca a boca” en las Escuelas Universitarias Gimbernat-Cantabria (adscritas a la Universidad de Cantabria). Se obtuvo el consentimiento informado de ambos grupos previo a las valoraciones. Se realizó un cálculo del tamaño de la muestra a priori para estimar el número mínimo de sujetos que era necesario estudiar. El número mínimo de sujetos necesario para detectar diferencias entre los grupos se calculó mediante un ANOVA mixto (factor intergrupo con 2 niveles: fractura de tobillo bimalleolares-grupo control y un factor intragrupo con 2 niveles: extremidad: operada (dominante)-no operada (no dominante)). El cálculo de la muestra se realizó con el software GPower 3.1.53 y se basó en la estimación del tamaño del efecto de un estudio anterior (DeJong et al., 2019). Este estudio encontró diferencias en el equilibrio dinámico entre sujetos con inestabilidad crónica del tobillo y sujetos sanos ($d=0.77$). Basándose en estos resultados, se esperaba encontrar diferencias en el equilibrio dinámico con un gran tamaño del efecto entre la extremidad operada de los pacientes con fracturas bimalleolares de tobillo y los sujetos sanos. Por el contrario, no se esperaba encontrar diferencias significativas entre la

extremidad no operada de los pacientes con fractura de tobillo y los controles sanos. Basándonos en este criterio, fueron necesarios 20 participantes (10 por grupo) para detectar un efecto de interacción significativo entre grupos y extremidades (tamaño del efecto $f=0,35$; potencia=80%; $\alpha=0,05$, correlación entre medidas repetidas, $r = 0,5$). Se reclutaron once personas sanas y se eliminó una persona debido a errores en la evaluación

4.2.2 Procedimiento experimental

Se realizaron 2 sesiones de evaluación (de 2 horas de duración cada una) a los 6 y 12 meses después de la cirugía de la fractura maleolar de tobillo de cada paciente.

Ambas sesiones siguieron la siguiente estructura y todas las mediciones y pruebas se realizaron de forma bilateral en las extremidades inferiores: (1) recogida de datos descriptivos y antropométricos (es decir, edad, masa corporal, altura, longitud de las extremidades y perímetros bimalleolar y de la pantorrilla (Lohman et al., 1991), (2) cumplimentación de los cuestionarios AOFAS_{AH} y OMAS (únicamente en el grupo de personas con fractura de tobillo), y (3) evaluación de la FDT_{ROM}, de la fuerza de la cadera y del equilibrio. El GC fue valorado en una única sesión, siendo las pruebas realizadas en el mismo orden y en ambas extremidades inferiores (dominante vs no dominante) que el grupo de personas con fractura bimalleolar de tobillo. Además, se dispuso de los datos clínicos anteriormente citados en el capítulo 3 (apartado 3.2.1 participantes 62-64).

Evaluación de longitud de las extremidades inferiores y la medición del perímetro de la pantorrilla y bimalleolar

**la medición de la longitud de la extremidad inferior ha sido descrita en el capítulo anterior (capítulo 3, apartado 3.2.2 procedimiento; página 64).*

Las mediciones de los perímetros fueron realizadas con una cinta métrica y con el paciente descalzo en bipedestación. Para el perímetro de la pantorrilla se tomó la medida 20 cm por encima del maléolo externo para situarnos en el vientre muscular del tríceps sural (Lohman et al., 1991). Para el perímetro bimaleolar se colocó la cinta métrica por encima de ambos maléolos. La figura 9 muestra las mediciones de los perímetros de la extremidad inferior.



Figura 9. Protocolo de la medición de los perímetros. A la izquierda la medición del perímetro bimaleolar y a la derecha la medición del perímetro de la pantorrilla.

Cuestionarios de funcionalidad del tobillo después de la cirugía

El cuestionario AOFAS_{AH} presenta una puntuación máxima de 100 puntos, donde las puntuaciones más altas representan una mayor funcionalidad. Está compuesto por tres

dominios que evalúan el dolor (hasta 40 puntos), la funcionalidad (hasta 50 puntos) y la alineación (hasta 10 puntos). La puntuación se clasifica como: excelente, de 90 a 100 puntos; buena, de 80 a 89 puntos; regular, de 60 a 79 puntos; y mala, menos de 60 puntos (Ceccarelli et al., 2013). Pese a no ser una herramienta validada en nuestro país, el estudio realizado por de Boer et al. en pacientes con fracturas maleolares informó de una alta fiabilidad test-retest para el AOFAS total y sus dominios con valores del índice de correlación intraclase (ICC) de $0.85 \leq ICC \leq 0.93$, un error estándar de medición (SEM) de $0.9 \leq SEM \leq 4.3$ puntos y un cambio mínimo detectable (MDC) de $2.6 \leq MDC \leq 12.0$ puntos (de Boer et al., 2017). Del mismo modo, el cuestionario OMAS puntúa hasta un máximo de 100 puntos, e igualmente, una puntuación más alta se asocia a un mejor estado funcional. Las puntuaciones del OMAS se clasifican de la siguiente manera: excelente, de 91 a 100 puntos; buena, de 61 a 90 puntos; regular, de 31 a 60 puntos; mala, menos de 30 puntos (Turhan et al., 2017) (ANEXO IV). El OMAS ha mostrado valores de ICC = 0.98, con un SEM de 3.3 puntos y MDC de 9.1 puntos (Turhan et al., 2017).

Evaluación del rango de movimiento de flexión dorsal de tobillo y de la fuerza de la musculatura de la cadena

Se evaluó el FDT_{ROM} con un inclinómetro digital (Acumar, Lafayette Instrument, Lagatette, IN, USA) el cual ha mostrado unos valores del ICC = 0.96-0.97 y un SEM=1.3°-1.4°. Además ha mostrado unos valores de MDC más bajos respecto a otros instrumentos como al goniómetro o a la cinta métrica para la evaluación del FDT_{ROM} (Konor et al., 2012). Específicamente el FDT_{ROM} se midió usando la posición de “Weight Bearing Lunge” (WBL) con la rodilla flexionada. Se seleccionó este método en lugar de una medición pasiva del ROM en descarga debido a que es considerada una evaluación más funcional, la cual parece estar más relacionada con los patrones de movimiento compensatorio durante las actividades funcionales que requieren una triple flexión de la extremidad inferior (Dill et al., 2014). Además, este método ha demostrado una alta fiabilidad (ICC >0.90) (Dill et al., 2014; Larsen et al., 2016). El test se realizó con la persona en bipedestación y descalzo frente a una pared, a una distancia de 30 cm de la misma y con la rodilla alineada con el segundo dedo del pie. Para la realización del test, cada participante (del grupo de personas con fractura bimalleolar de tobillo o GC) debía apoyarse en la pared desplazando su cuerpo hacia delante, a la par que flexionaba la

rodilla hasta alcanzar el máximo FDT_{ROM} . Se permitieron tres intentos para que los participantes se familiarizaran con la prueba y para facilitar la adaptación de los tejidos al estiramiento. Durante la prueba, no se permitió la elevación del talón. Una vez que la persona alcanzó su máximo rango de flexión dorsal, el inclinómetro digital se colocó distal a la tuberosidad tibial. La figura 10 muestra el instrumento de medición y la posición de la medida del FDT_{ROM} .

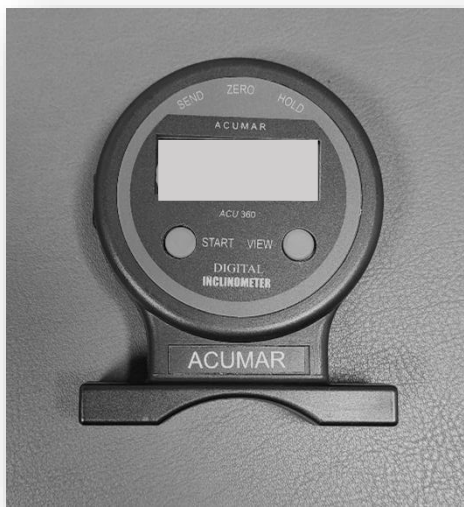


Figura 10. Protocolo de evaluación del rango de movimiento de la flexión dorsal de tobillo.

A la izquierda: un inclinómetro digital (Acumar, Lafayette Instrument, Lagatette, IN, USA); a la derecha: posición de “Weight Bearing Lunge” (WBL) con la rodilla flexionada en la que se tomó el dato del rango de flexión dorsal de tobillo.

Posteriormente, se evaluó la fuerza de la cadera de los músculos abductores (ABD) y aductores (ADD) de la cadera utilizando un dinamómetro de mano (microFET@2, Hoggan Scientific L.L.C, Salt Lake City, EE.UU) (Kelln et al., 2008; Stark et al., 2011). Cada participante se colocó en decúbito supino sobre una camilla con las extremidades inferiores extendidas. Para valorar la máxima fuerza isométrica, se solicitó a cada participante que realizaran esfuerzos isométricos de abducción y aducción con ambas extremidades inferiores (con la extremidad operada como con la no operada o con la extremidad dominante y no dominante en función del grupo al que pertenecían). Para ello, un investigador colocó el dinamómetro entre su mano y la parte interna o externa de la rodilla y resistió manualmente la fuerza del participante con objeto de mantener cada contracción máxima voluntaria isométrica durante 5 segundos. Una revisión sistemática reciente muestra que no hay un consenso sobre la metodología (posición) correcta para evaluar la fuerza isométrica de la cadera con un dinamómetro de mano (Stark et al., 2011). Por tanto, se eligió colocar la resistencia manual en la rodilla debido a las características de parte de nuestra muestra (personas con fractura bimalleolar de tobillo) con tal de evitar la presión sobre el tobillo y aumentar el estrés en este. Antes de la medición, todos los participantes realizaron un calentamiento en el cual se realizó una contracción isométrica progresiva por grupo muscular. La figura 11 muestra el instrumento de medición y la posición de la medida de la fuerza de los ABD y ADD de la cadera.



Figura 11. Protocolo de evaluación de la fuerza muscular de los abductores y aductores de la cadera. Arriba: Dinamómetro de mano (microFET@2, Hoggan Scientific L.L.C, Salt Lake City, EE. UU.); A la izquierda: evaluación de los aductores de la cadera; a la derecha: evaluación de los abductores de la cadera.

Evaluación del equilibrio

El equilibrio estático y dinámico se evaluó a través de tareas estáticas en una plataforma de presiones (P-Walk®, BTS Bioengineering, Milán, Italia) (Kawai et al., 2019) y a través de tareas dinámicas con el Y-Balance test (YBT) (Y-Balance Test Kit, Move2Perform, Evanville, IN, USA) (Plisky et al., 2009). La plataforma de presiones proporciona información cuantitativa que permite detectar la presencia de alteraciones posturales analizando las oscilaciones del centro de presión (CoP). El estudio de equilibrio basado en los parámetros de CoP ha mostrado una alta fiabilidad (>0.8) (Z. Li et al., 2016). Se trata de una plataforma que contiene 2304 sensores de tipo resistivos de 1cm x 1cm. La frecuencia de adquisición fue de 100 HZ. La plataforma va conectada al ordenador mediante un USB y es controlada mediante el software “G-estudio” (BTS Bioengineering). Los participantes realizaron 6 tareas de equilibrio en el siguiente orden: (1) postura de equilibrio en apoyo unipodal con los ojos abiertos sobre el tobillo no operado o el no dominante en el caso de pertenecer al GC (UOA_{TS}), (2) postura de equilibrio en apoyo unipodal con los ojos abiertos sobre el tobillo operado o el dominante en el GC (UOA_{TO}), (3) postura de equilibrio en apoyo unipodal con los ojos cerrados sobre el tobillo no operado o el no dominante en el GC (UOC_{TS}), (4) postura de equilibrio en apoyo unipodal con los ojos cerrados sobre el tobillo operado o el dominante en el GC (UOC_{TO}), (5) postura de equilibrio en tándem con ojos abiertos con el tobillo no operado (no dominante en el GC) colocado detrás de su tobillo operado (dominante en el GC) (TOA_{TS}) y (6) postura de equilibrio en tándem con ojos abiertos con el tobillo operado (dominante en el GC) colocado detrás de su tobillo no operado (no dominante en el GC) (TOA_{TO}). En las tareas unipodales se alternaban las pruebas entre el tobillo no operado y el operado para evitar la posible aparición de fatiga. De igual manera fue realizado en el GC. Antes de las pruebas, y tras una breve explicación por parte de los investigadores de cómo debía ser realizada cada prueba, todos los participantes tuvieron un breve periodo de familiarización que consistió en probar cada una de las posiciones hasta sentirse comfortable. Después, se realizaron dos ensayos de cada prueba con una duración de 30 segundos cada una y con 30 segundos de descanso entre las pruebas. Durante la realización de la prueba un investigador se colocó delante de los participantes para evitar cualquier posible caída. Se permitió a los participantes que realizasen movimientos con los brazos. Se seleccionó un tiempo de muestreo (ensayo) de 30 s porque tal y como se recoge en la literatura, las medidas COP pueden verse afectadas por la duración del

muestreo durante la tarea de equilibrio. Algunos autores encuentran que la fiabilidad de los datos del COP aumenta cuando se prolonga la duración del muestreo, por lo que sugieren que el uso de intervalos de tiempo más largos para las evaluaciones del equilibrio puede aumentar la posibilidad de encontrar diferencias más sutiles en la estrategia postural entre distintos grupos (Carpenter et al., 2001; Parreira et al., 2013). La figura 12 muestra el instrumento de medición y la posición de las pruebas de equilibrio estático (foto realizada en la sesión de evaluación de una de las personas con fractura bimalleolar de tobillo a los 12 meses después de la cirugía).

El equilibrio dinámico de los participantes se evaluó mediante el (YBT) siguiendo las indicaciones anteriormente descritas (Plisky et al., 2009). El protocolo realizado se describe detalladamente en el capítulo anterior (capítulo 3; apartado 3.2.2 procedimiento; páginas 64-66). La figura 13 muestra el instrumento de medición y la posición de las pruebas de equilibrio dinámico (foto realizada en la sesión de evaluación de una de las personas con fractura bimalleolar de tobillo a los 12 meses después de la cirugía).

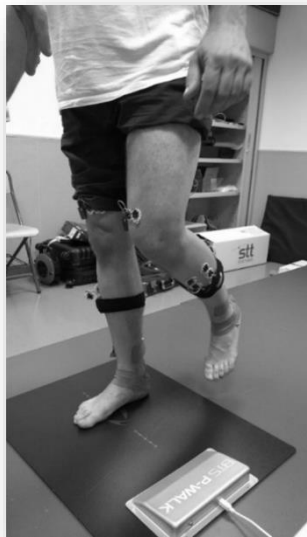


Figura 12. Protocolo de evaluación del equilibrio estático. Arriba: plataforma de presión (P-Walk®, BTS Bioengineering, Milán, Italia); abajo a la izquierda: apoyo unipodal con los ojos abiertos o cerrados; a la derecha: posición en tándem

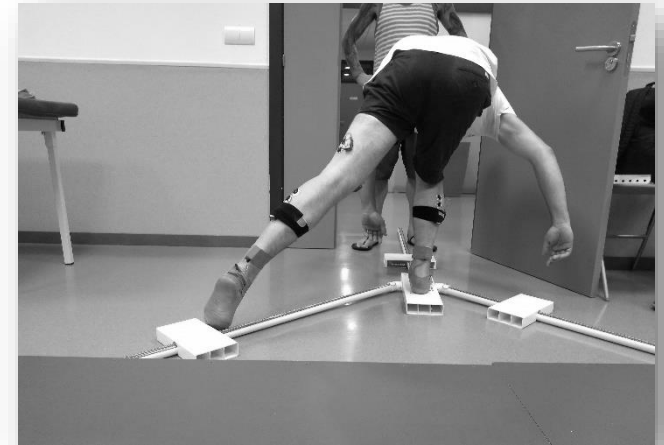
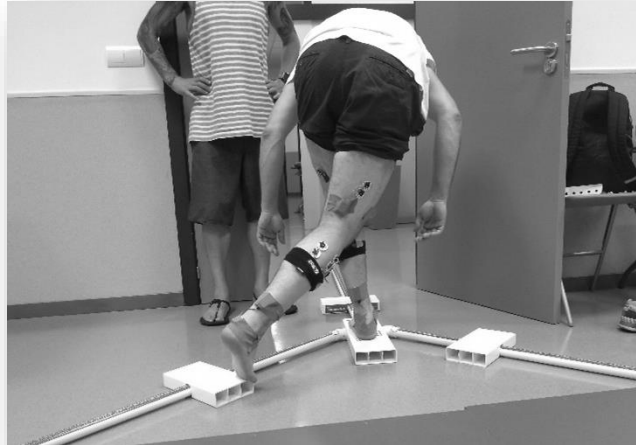
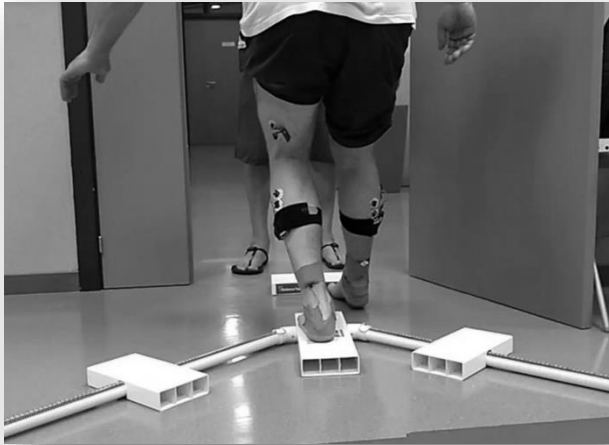


Figura 13. Protocolo de evaluación el equilibrio dinámico mediante el Y-Balance test. De izquierda derecha: A. dirección anterior (YBT_A); B. dirección posterolateral del test (YBT_{PL}); C. dirección posteromedial del test

4.2.3 Reducción de datos

Para la medición de FDT_{ROM} se promediaron los dos ensayos más similares. En cuanto a la fuerza de ABD y ADD, para los análisis estadísticos posteriores se seleccionó el pico de fuerza máximo obtenido en cualquiera de los ensayos. Los picos de fuerza se normalizaron en función de la masa corporal de cada participante ($kg \cdot 100 / \text{masa corporal}$). Para las tareas de equilibrio estático, las variables registradas fueron la trayectoria máxima de recorrido del CoP (DIS_{COP}) (mm), la velocidad media (V_{COP}) (mm/s) y la longitud en función a las dimensiones de la superficie (LFS). Esta última variable fue seleccionada porque aporta información sobre la precisión del control postural y el esfuerzo realizado por el sujeto (Bisson et al., 2011; Fabbri et al., 2006; Forti et al., 2010). La variable LFS fue calculada como la longitud recorrida por el COP (unipodales ojos abiertos/cerrados, tándem) dividida por la superficie abarcada por el COP en cada condición (Fabbri et al., 2006; Forti et al., 2010). Las variables estabilométricas son procesadas y aportadas automáticamente por el software “G-estudio”. Para la realización de los posteriores análisis estadísticos se promediaron los datos de los dos ensayos de cada tarea de equilibrio estático.

El YBT se registró en cm y se normalizó según la longitud de la extremidad de cada participante ($\text{distancia alcanzada} \cdot 100 / \text{longitud de la extremidad}$). Para los análisis posteriores se usó el mejor resultado en cada dirección. Además, se calculó una puntuación compuesta (composite score; YBT_{CS}) como el promedio de la distancia normalizada máxima alcanzada en las tres direcciones (Gribble & Hertel, 2003). La figura 14 muestra la toma de las variables estabilométricas a través del software “G-estudio” (BTS Bioengineering).

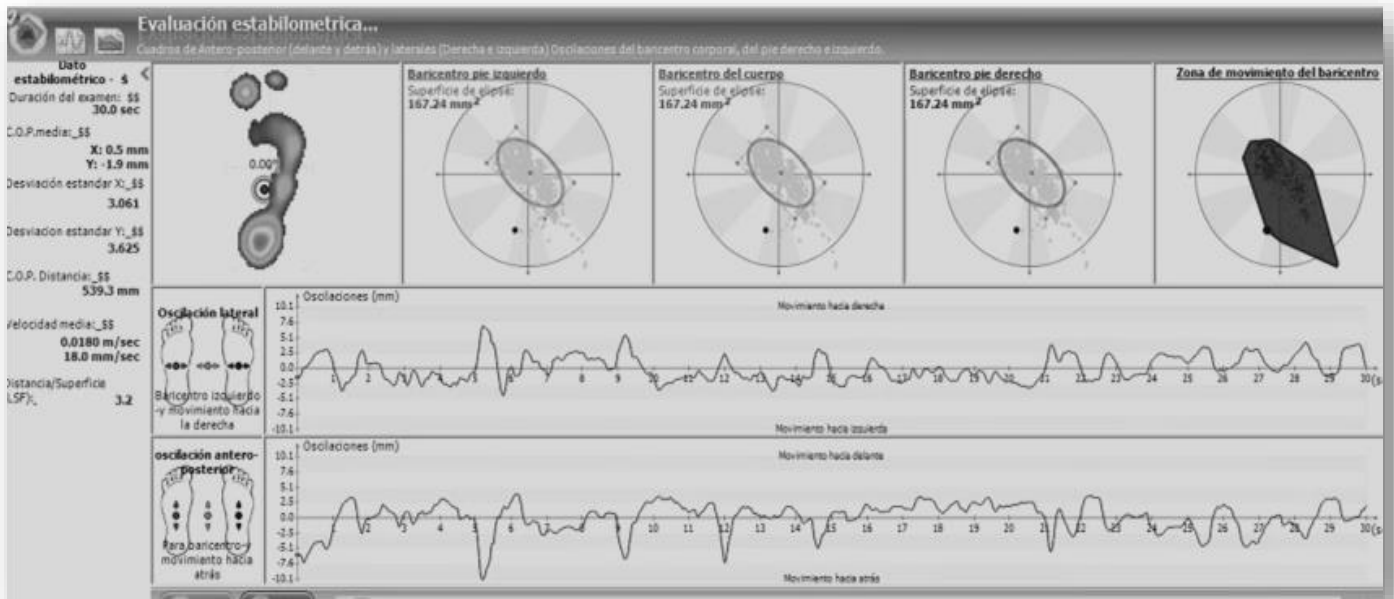


Figura 14. Toma de las variables estabilométricas a través del software “G-estudio” (BTS Bioengineering)

4.2.4 Análisis estadístico

Se calcularon los estadísticos descriptivos para todas las variables [media y desviación estándar (SD)]. Se comprobó la normalidad de la distribución de las variables mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Se realizaron ANOVAs de medidas repetidas de 2 vías para analizar las diferencias entre el tobillo operado y no operado a los 6 y 12 meses después de la cirugía. Para el análisis de las diferencias entre el tobillo operado y no operado respecto al GC se utilizó un ANOVA mixto de dos vías. Se realizaron a los 6 y 12 meses después de la cirugía. La extremidad operada se comparó con la extremidad dominante del GC (Fatima et al., 2020). También se compararon las asimetrías (diferencia entre extremidades) entre grupos mediante ANOVAs a los 6 y 12 meses de la cirugía. La magnitud de las diferencias se cuantificó a través de la *g* de Hedges (*g*) como índice de tamaño del efecto siguiendo la siguiente interpretación: trivial ($g < 0.2$), pequeño ($0.2 \leq g < 0.5$), moderado ($0.5 \leq g < 0.8$) y grande ($g \geq 0.8$) (Hedges & Olkin, 1985). Para la *g* de Hedges, las puntuaciones negativas indican un menor rendimiento de la extremidad operada de las personas con fractura bimalleolar de tobillo en comparación con la extremidad no operada o con el GC. Previo al análisis de las diferencias de la fuerza,

puesto que el protocolo de medición fue adaptado a las características de las personas con fractura bimalleolar de tobillo y su patología, se determinó la fiabilidad intra-sesión para las medidas de fuerza a partir de las dos puntuaciones más altas alcanzadas durante las acciones isométricas de abducción y de aducción de cadera, respectivamente. La fiabilidad relativa se evaluó mediante el ICC_{2,1} y para el análisis de la fiabilidad absoluta se calculó el SEM y el cambio mínimo detectable (MDC por sus siglas en inglés) con un intervalo de confianza del 95%.

**Para este análisis y su interpretación se siguió la metodología descrita en el capítulo anterior (capítulo 3; apartado 3.2.3 Análisis estadístico; página 63-64)*

Además, se realizó un análisis de correlación de Pearson para observar cuáles de los parámetros se asocian a los 6 y 12 meses después de la cirugía de tobillo. Se realizaron análisis de correlación entre la edad, las capacidades físicas, las variables clínicas, los resultados de los cuestionarios y entre aquellas tareas de equilibrio que mostraron diferencias significativas entre las extremidades (operada vs no operada) a los 6 y 12 meses. A continuación, se realizó un análisis de regresión lineal multivariante por pasos del mínimo cuadrado con eliminación hacia atrás ($p \leq 0.1$) a los 6 y a los 12 meses con aquellas capacidades físicas que mostraron una correlación significativa para determinar hasta qué punto las mediciones de las capacidades físicas podían predecir los resultados del equilibrio.

Se utilizó el paquete estadístico SPSS (versión 20.0, SPSS Inc., Chicago, IL, EE.UU.) para el análisis de la varianza (ANOVA), así como las correlaciones con un nivel de significación de $p < .05$.

Por último, se realizaron análisis de peso relativo (RWA por las siglas en inglés de *relative weight analysis*) el cual es un método para "repartir" la varianza explicada entre múltiples predictores, lo que ayuda a comprender mejor el papel que cada uno de los predictores desempeña de ellos en una ecuación de regresión (Johnson, 2000). En el presente trabajo, se realizaron RWAs para evaluar la contribución relativa de las diferentes variables tomadas en este estudio en la explicación de la varianza total (R^2) de aquellas tareas de equilibrio que mostraron diferencias significativas a los 12 meses, así como en las puntuaciones de los cuestionarios AOFAS_{AH} y OMAS también a los 12 meses. La edad, las variables clínicas y aquellos parámetros registrados a los 6 meses después de la cirugía que mostraban una correlación significativa con dichas variables dependientes (resultados de los test de equilibrio y las puntuaciones del AOFAS_{AH} y OMAS) a los 12 meses de la cirugía se introdujeron como

variables predictoras en cada modelo de RWA. Además, se realizó un RWA para evaluar el impacto y la importancia relativa de las variables clínicas en la restauración del FDT_{ROM} y de la fuerza de la cadera. Todos los factores potenciales cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Se utilizó un procedimiento de eliminación regresiva para eliminar todos los parámetros que no influían significativamente en las variables dependientes ($p > .05$). La contribución relativa de cada parámetro se calculó como el porcentaje de la varianza (R^2) que cada factor explicó. La importancia relativa de cada factor también se comparó con los otros factores. Para el análisis de RWA se utilizó la web RWA (Tonidandel & LeBreton, 2015). El nivel de significación para el RWA también fue establecido en $p < 0.05$.

4.3 Resultados

21 participantes (10 mujeres/11 hombres) que fueron operados después de una fractura bimalleolar de tobillo terminaron el estudio. Por tanto, hubo una pérdida de un paciente que no acudió a la sesión de evaluación de los 12 meses. Asimismo 10 personas sanas formaron el GC (tabla 4).

Tabla 4. Características basales de las personas con fracturas bimalleolares de tobillo a los 6 meses de la cirugía y del grupo de control

	Grupo de fracturas bimalleolares de tobillo (N=21)	Grupo control (N=10)	p-valor
	Media ± SD	Media ± SD	
Edad (años)	44.1 ± 11.1	39.4 ± 8.8	> 0.05
Sexo (% de mujeres)	47.6	40	> 0.05
Altura (cm)	168.8 ± 9.2	171.8 ± 6.9	> 0.05
Peso (kg)	77.9 ± 17.0	65.4 ± 8.2	> 0.05
Tiempo de inmovilización (semanas)	3.4 ± 1.2		
Tiempo de descarga (semanas)	6.1 ± 1.3		
Tiempo de rehabilitación (meses)	3.2 ± 2.5		

SD: desviación estándar; cm: centímetros; kg: kilogramos; %: porcentaje

Estado funcional

Los participantes mostraron mejoras significativas en los cuestionarios AOFAS_{AH} ($\Delta = +10.76$ puntos, $g=0.8$) y OMAS ($\Delta = +22.96$ puntos, $g=0.9$) al comparar las evaluaciones de los 12 meses con las de los 6 meses después de la cirugía. Según las puntuaciones del AOFAS_{AH} a los 6 meses, el 15% de los participantes tuvieron unos resultados malos, el 50% unos resultados regulares, el 25% unos resultados buenos y el 10% unos resultados excelentes. Según las puntuaciones del OMAS a los 6 meses, el 15% tuvo unos malos resultados, el 40% regulares y el 45% buenos. A los 12 meses, según las puntuaciones del AOFAS_{AH}, ninguna de las personas con fractura bimalleolar de tobillo presentó unos malos resultados, el 35% regulares, el 25% buenos y el 40% unos resultados excelentes. Y según las puntuaciones del OMAS a los 12 meses un 55% de los participantes tuvieron unos resultados excelentes (tabla 5).

Tabla 5. AOFAS_{AH} y OMAS en las evaluaciones de 6 y 12 meses después de la cirugía

			Media \pm SD	(LI-LS)	p-valor	
AOFAS_{AH}	Puntuación total	6 meses	73.7 \pm 11.5	(68.44; 78.90)	<0.001	
		12 meses	84.4 \pm 12.4	(78.78; 90.10)		
	Dominio dolor	6 meses	28.1 \pm 6.8	(25.00; 31.19)	0.09	
		12 meses	30.5 \pm 8.0	(26.81; 34.14)		
	Dominio función	6 meses	36.1 \pm 6.5	(33.10; 39.00)	<0.001	
		12 meses	44.4 \pm 5.0	(42.16; 46.70)		
	Dominio alineación	6 meses	9.5 \pm 1.5	(8.84; 10.21)		
		12 meses	9.5 \pm 1.5	(8.84; 10.21)		
Puntuación total en categorías			Pobre	Regular	Buena	Excelente
	6 meses	15%	50%	25%	10%	
OMAS	Puntuación total	6 meses	57.0 \pm 22.1	(47.47; 66.61)	<0.001	
		12 meses	80.0 \pm 25.0	(68.60; 91.40)		
Puntuación total en categorías			Pobre	Regular	Buena	Excelente
	6 meses	15%	40%	45%		
	12 meses		25%	20%	55%	

AOFAS_{AH}: American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot score; OMAS: Olerud Molander Ankle Score; SD: Desviación estándar; LI: Límite inferior de confianza fijado en el 95%; LS: Límite superior de confianza fijado en el 95%;

Equilibrio estático y dinámico

Todas las personas con fractura bimalleolar de tobillo fueron capaces de realizar las diferentes tareas estáticas excepto el UOC_{TO}, que fue realizado por 17 y 19 participantes a los 6 y 12

meses respectivamente. En general, en las tareas de equilibrio estático se observaron pocas diferencias entre extremidades. A los 6 meses, se detectó un peor rendimiento en la extremidad operada en comparación con la no operada en las tareas de apoyo unipodal con los ojos abiertos y de tándem ($UOA_{TO} > DIS_{COP}$; $g = -0.3$, $T_{TO} > DIS_{COP}$; $g = -0.6$; $> V_{COP}$; $g = -0.7$). Sin embargo, a los 12 meses no se observaron diferencias significativas entre las extremidades (tabla 6 y ANEXO V).

En comparación con el GC, el grupo con fractura bimalleolar de tobillo mostró un peor rendimiento en el equilibrio estático en su extremidad operada a los 6 meses ($UOA_{TO} < LFS$; $g = -0.8$, $T_{TO} > DIS_{COP}$; $g = -0.8$, $> V_{COP}$; $g = -0.8$). A los 12 meses, la extremidad operada sólo mostró peor equilibrio respecto al GC en la tarea UOC_{TO} ($< LFS$; $g = -1.7$). También se detectó un peor rendimiento en algunas tareas en la extremidad no operada ($UOC_{TS} > V_{COP}$; $g = -0.9$, $< LFS$; $g = -1.9$) (tabla 6 y ANEXO V).

Tabla 6. Equilibrio estático en las evaluaciones de 6 y 12 meses después de la cirugía

	6 meses Media ± SD	12 meses Media ± SD	Asimetría Media (LI-LS)		
UNIPODAL OJOS ABIERTOS	<i>DIS_{COP} (mm)</i>				
	GC extremidad dominante	571.7 ± 274.0		11.0 (-127.4; 150.0)	
	GC extremidad no domin.	560.7 ± 250.0			
	PcFT extremidad operada	733.8 ± 326.5 ^B	680.6 ± 234.4	103.8 (0.9; 216.5)	82.1 (-25.4; 151.7)
	PcFT extremidad no operada	630.7 ± 236.5	762.7 ± 287.4		
	<i>V_{COP} (mm/s)</i>				
	GC extremidad dominante	18.5 ± 7.0		0.1 (-0.1; 0.3)	
	GC extremidad no domin.	17.6 ± 6.7			
	PcFT extremidad operada	24.4 ± 10.7	23.0 ± 7.8	3.1 (-0.4; 6.7)	2.4 (-0.8; 5.1)
	PcFT extremidad no operada	21.0 ± 7.4	25.4 ± 9.5		
	<i>LFS</i>				
	GC extremidad dominante	2.3 ± 1.3		0.3 (-1.0; 0.5)	
GC extremidad no domin.	2.0 ± 0.7				
PcFT extremidad operada	1.6 ± 0.7 ^A	1.6 ± 0.8	-0.2 (-0.3; 0.6)	-0.1 (-0.6; 0.4)	
PcFT extremidad no operada	1.8 ± 0.8	1.5 ± 0.6			
UNIPODAL OJOS CERRADOS	<i>DIS_{COP} (mm)</i>				
	GC extremidad dominante	1106.1 ± 571.8		-109.2 (-368.0; 149.6)	
	GC extremidad no domin.	996.9 ± 294.4			
	PcFT extremidad operada	1354.8 ± 702.5	1377.2 ± 557.4	32.4 (-233.5; 298.3)	121.1 (-57.9; 300.2)
	PcFT extremidad no operada	1387.2 ± 548.8	1488.1 ± 699.8		
	<i>V_{COP} (mm/s)</i>				
	GC extremidad dominante	41.0 ± 17.2		-9.4 (-19.8; 1.1)	
	GC extremidad no domin.	31.0 ± 11.4			
	PcFT extremidad operada	45.0 ± 24.1	47.0 ± 17.8	3.6 (-5.8; 13.1)	2.8 (-3.7; 9.4)
	PcFT extremidad no operada	48.0 ± 15.6	50.0 ± 23.3 ^A		
	<i>LFS</i>				
	GC extremidad dominante	1.3 ± 0.6		-0.4 (0.0; 0.8)	
GC extremidad no domin.	1.7 ± 0.9				
PcFT extremidad operada	0.9 ± 0.5	0.8 ± 0.3 ^A	0.1 (-0.3; 0.1)	0.1 (-0.3; -0.4)	
PcFT extremidad no operada	0.8 ± 0.3 ^A	0.7 ± 0.2 ^A			

PcFT: personas con fractura bimalleolar de tobillo; GC: grupo de control sano; DIS_{COP}: distancia recorrida por el centro de presiones; V_{COP}: velocidad media del centro de presiones; LFS: longitud en función de la superficie; SD: desviación estándar; LI: límite de confianza inferior fijado en el 95%; LS: límite de confianza superior fijado en el 95%; no domin.: no dominante; A: diferencias respecto al grupo de control sano; B: diferencias entre la extremidad operada y la no operada; C: diferencias entre las evaluaciones de 6 y 12 meses.

Tabla 6. Equilibrio estático en las evaluaciones de 6 y 12 meses después de la cirugía (continuación)

		<i>DIS_{COP}</i> (mm)		
TANDEM	GC extremidad dominante	516.3 ± 253.9		-13.3 (-190.0; 164.1)
	GC extremidad no domin.	529.3 ± 165.9		
	PcFT extremidad operada	799.2 ± 325.7 ^{A,B}	675.8 ± 289.1	228.6 (63; 386.0) 23.5 (-106.1; 153.2)
	PcFT extremidad no operada	570.6 ± 304.9	699.3 ± 310.7	
		<i>V_{COP}</i> (mm/s)		
TANDEM	GC extremidad dominante	16.4 ± 5.0		-1.4 (-5.4; 2.5)
	GC extremidad no domin.	17.7 ± 6.3		
	PcFT extremidad operada	26.6 ± 10.9 ^{A,B}	22.4 ± 9.6	7.5 (2.1; 12.8) 0.1 (-3.5; 5.1)
	PcFT extremidad no operada	19.0 ± 10.0	22.3 ± 10.0	
		<i>LFS</i>		
TANDEM	GC extremidad dominante	1.5 ± 0.9		-0.04 (-0.4; 0.4)
	GC extremidad no domin.	1.4 ± 0.6		
	PcFT extremidad operada	1.3 ± 0.5	1.2 ± 0.6	0.02 (-0.4; 0.4) 0.04 (-0.6; 0.3)
	PcFT extremidad no operada	1.3 ± 0.9	1.2 ± 0.7	

PcFT: personas con fractura bimalleolar de tobillo; GC: grupo de control sano; DIS_{COP}: distancia recorrida por el centro de presiones; V_{COP}: velocidad media del centro de presiones; LFS: longitud en función de la superficie; SD: desviación estándar; LI: límite de confianza inferior fijado en el 95%; LS: límite de confianza superior fijado en el 95%; no domin.: no dominante; A: diferencias respecto al grupo de control sano; B: diferencias entre la extremidad operada y la no operada; C: diferencias entre las evaluaciones de 6 y 12 meses.

En cuanto al equilibrio dinámico, a los 6 meses todas las personas con fractura bimalleolar de tobillo fueron capaces de realizar el YBT_A, 20 el YBT_{PM} y 19 el YBT_{PL}. A los 12 meses, 2 sujetos aún no fueron capaces de realizar el YBT_{PL}. A los 6 meses las personas con fractura bimalleolar de tobillo mostraron una distancia de alcance inferior en la extremidad operada en el YBT_A (-9.4%, $g = -0.7$) y en el YBT_{CS} (-4.7%, $g = -0.5$) en comparación con la extremidad no operada. Las personas con fractura bimalleolar de tobillo mostraron un aumento significativo de los 6 a los 12 meses en la distancia alcanzada en la extremidad operada en ambas tareas (YBT_A; $\Delta +4.9\%$, $g = 0.3$, YBT_{CS} $\Delta +3.5\%$, $g = 0.3$); sin embargo, a los 12 meses, aún presentaron un peor rendimiento significativo en la extremidad operada (YBT_A: -5.6%, $g = -0.5$; YBT_{PM}: -3.3%; $g = -0.3$; YBT_{CS}: -3.3%, $g = -0.3$) (tabla 7 y ANEXO VI).

En comparación con el GC, a los 6 meses las personas con fractura bimalleolar de tobillo mostraron puntuaciones significativamente más bajas en el YBT_A (-11.6%, $g = -1.0$) y en el YBT_{CS} (-10.0%, $g = -0.9$) en la extremidad operada, pero no en la extremidad no operada (efecto interacción, $F=15.895$; $p < 0.0001$ y $F=7.098$; $p < 0.001$, respectivamente). A los 12 meses de la cirugía, las personas con fractura bimalleolar de tobillo seguían presentando un peor equilibrio en el YBT_A en su extremidad operada (-6.7%, $g = -0.7$) respecto al GC (efecto

de interacción, $F=7.310$; $p=0.01$) (tabla 7 y ANEXO VI). **En los anexos V y VI se muestra las tablas del equilibrio estático y dinámico con los valores F del ANOVA y los tamaños del efecto*

Tabla 7. Y-Balance Test en las evaluaciones de 6 y 12 meses después de la cirugía

	6 meses	12 meses	Asimetría	
	Media ± SD	Media ± SD	6 meses	12 meses
<i>Dirección anterior (%)</i>				
GC extremidad dominante		68.0 ± 5.4	1.3 (-5.6; 3.0)	
GC extremidad no dominante		66.7 ± 8.6		
PcFT extremidad operada	56.4 ± 13.3 ^{A,B,C}	61.3 ± 10.7 ^{A,B}	-9.4 (6.0; 12.7) ^A	-5.6 (2.4; 8.7) ^A
PcFT extremidad no operada	65.8 ± 12.3	66.9 ± 8.4		
<i>Dirección posteromedial (%)</i>				
GC extremidad dominante		110.6 ± 13.3	-2.2 (-2.1; 6.6)	
GC extremidad no dominante		112.0 ± 14.1		
PcFT extremidad operada	102.2 ± 14.4	104.9 ± 11.7 ^B	-2.9 (-0.4; 6.1)	-2.5 (0.4; 6.1)
PcFT extremidad no operada	105.1 ± 13.5	107.3 ± 12.1		
<i>Dirección posterolateral (%)</i>				
GC extremidad dominante		111.2 ± 15.5	2.1 (-6.8; 2.5)	
GC extremidad no dominante		109.1 ± 13.5		
PcFT extremidad operada	99.4 ± 14.8	102.2 ± 13.8	-2.9 (-1.7; 7.6)	-2.5 (-2.3; 7.3)
PcFT extremidad no operada	102.3 ± 15.7	104.7 ± 11.7		
<i>Composite score (%)</i>				
GC extremidad dominante		96.6 ± 11.0	0.4 (-3.3; 2.5)	
GC extremidad no dominante		96.2 ± 11.5		
PcFT extremidad operada	86.6 ± 12.8 ^{A,B}	90.1 ± 11.0 ^B	-4.7 (2.2; 7.3) ^A	-3.3 (0.8; 5.8)
PcFT extremidad no operada	91.3 ± 12.9	93.4 ± 10.0		

PcFT: personas con fractura bimalleolar de tobillo; GC: grupo de control sano; SD: desviación estándar; LI: límite inferior de confianza fijado en el 95%; LS: límite superior de confianza fijado en el 95%; A: diferencias respecto al grupo de control sano; B: diferencias entre la extremidad operada y la no operada; C: diferencias entre las evaluaciones de 6 y 12 meses.

ROM de flexión dorsal de tobillo, fuerza de la cadera y perímetros

A los 6 meses las personas con fractura bimalleolar de tobillo mostraron un FDT_{ROM} significativamente inferior en la extremidad operada respecto a la no operada (-12.4° , $g = -1.7$). De los 6 a los 12 meses el FDT_{ROM} mostró un aumento significativo en la extremidad operada ($\Delta +6.8^\circ$, $g = 0.8$), pero aún a los 12 meses este fue significativamente inferior en la extremidad operada (-7.4° , $g = -0.8$). En comparación con el GC, el FDT_{ROM} de la extremidad operada fue significativamente menor tanto a los 6 como a los 12 meses (-18.7° , $g = -2.5$ y -11° , $g = -1.3$, respectivamente) pero no en la extremidad no operada (efecto de interacción, $F=63.104$; $p < 0.0001$ y $F=19.931$; $p < 0.001$, respectivamente) (tabla 8 y ANEXO VIII).

Los valores de fiabilidad relativa intra-sesión de la evaluación de la fuerza de la cadera (ABD-ADD) fueron excelentes ($0.91 \leq ICC \leq 0.98$). Además, las puntuaciones del SEM fueron inferiores al 2% y los del MDC fueron inferiores al 5.0% (ANEXO VII).

En cuanto a la fuerza muscular de la cadera, a los 6 meses las personas con fractura bimalleolar de tobillo tuvieron unos valores de fuerza más bajos de ABD en la extremidad operada respecto a la no operada (-4.1% , $g = -0.5$), pero a los 12 meses no hubo diferencias en cuanto a la fuerza entre extremidades. No fueron detectados déficits de la fuerza de ADD de cadera. En comparación con el GC, las personas con fractura bimalleolar de tobillo presentaron a los 6 meses unos valores más bajos en la fuerza de ABD (-9.7% , $g = -1.2$) en la extremidad operada, pero no en la extremidad no operada (efecto de interacción, $F=6.291$; $p=0.02$), pero no a los 12 meses de la cirugía (tabla 8 y ANEXO VIII).

El perímetro de la pantorrilla fue menor en la extremidad operada a los 6 meses (-1.3 cm, $g = -0.3$) y a los 12 meses (-1 cm, $g = -0.2$). El perímetro bimalleolar fue mayor en la extremidad operada a los 6 meses ($+1$ cm, $g = 0.5$) y a los 12 meses ($+1.1$ cm, $g = 0.5$). En comparación con el GC, el perímetro bimalleolar fue mayor tanto a los 6 ($+3$ cm; $g = 1.3$) como a los 12 meses ($+3.7$ cm; $g = 1.8$) (tabla 8 y ANEXO VII).

Tabla 8. ROM de flexión dorsal del tobillo, fuerza de la cadera, perímetros de la pantorrilla y bimaleolar en las evaluaciones de 6 y 12 meses después de la cirugía

	6 meses	12 meses	Asimetría	
	Media \pm SD	Media \pm SD	Media (LI-LS)	
	<i>ROM de flexión dorsal del tobillo (°)</i>		<i>6 meses</i>	<i>12 meses</i>
GC extremidad dominante		40.7 \pm 4.9	1.3 (-3.6; 0.9)	
GC extremidad no dominante		39.4 \pm 7.0		
PcFT extremidad operada	22.9 \pm 7.6 ^{A,B,C}	29.7 \pm 9.2 ^{A,B}	-12.4 (9.9; 14.8) ^A	-7.4 (4.6; 10.3) ^A
PcFT extremidad no operada	35.3 \pm 5.4	37.1 \pm 6.0		
	<i>Fuerza de ABD de la cadera normalizada con respecto a la masa corporal (%)</i>			
GC extremidad dominante		35.0 \pm 8.9	0.9 (-3.0; 1.2)	
GC extremidad no dominante		34.0 \pm 7.9		
PcFT extremidad operada	25.3 \pm 7.3 ^{A,B,C}	30.2 \pm 7.7	-4.0 (1.3; 6.7) ^A	-1.9 (-0.2; 4.2)
PcFT extremidad no operada	29.4 \pm 8.9 ^C	32.1 \pm 7.3		
	<i>Fuerza de ADD de la cadera normalizada con respecto a la masa corporal (%)</i>			
GC extremidad dominante		33.2 \pm 9.5	1.9 (-4.8; 1.0)	
GC extremidad no dominante		31.3 \pm 8.9		
PcFT extremidad operada	26.2 \pm 9.3 ^C	28.8 \pm 8.5 ^B	0.1 (-1.6; 1.3)	2.1 (-4.1; -0.2)
PcFT extremidad no operada	26.1 \pm 8.7	26.6 \pm 7.2		

PcFT: personas con fractura bimaleolar de tobillo; GC: grupo de control sano; ABD: fuerza de los abductores de la cadera; ADD: fuerza de los aductores de la cadera; SD: desviación estándar; LI: límite de confianza inferior fijado en el 95%; LS: límite de confianza superior fijado en el 95%; A: diferencias respecto al grupo de control sano; B: diferencias entre la extremidad operada y la no operada; C: diferencias entre las evaluaciones de 6 y 12 meses

Tabla 8. ROM de flexión dorsal del tobillo, fuerza de la cadera, perímetros de la pantorrilla y bimaleolar en las evaluaciones de 6 y 12 meses después de la cirugía (continuación)

		<i>Perímetro de la pantorrilla (cm)</i>		
GC extremidad dominante		34.2 ± 2.3		0.4 (-1.3; 0.6)
GC extremidad no dominante		33.9 ± 2.7		
PcFT extremidad operada	34.3 ± 4.1 ^B		34.5 ± 4.5 ^B	1.3 (0.6; 2.1) ^A
PcFT extremidad no operada	35.6 ± 4.5		35.5 ± 4.3	1.0 (0.2; 1.8) ^A
		<i>Perímetro bimaleolar (cm)</i>		
GC extremidad dominante		22.0 ± 1.7		0.3 (-0.7; 0.2)
GC extremidad no dominante		21.8 ± 1.4		
PcFT extremidad operada	25.0 ± 2.1 ^{A,B}		25.7 ± 2.0 ^{A,B}	1.0 (-1.2; -0.8) ^A
PcFT extremidad no operada	24.0 ± 2.1		24.6 ± 1.7	1.1 (-1.4; -0.8) ^A

PcFT: pacientes con fractura bimaleolar de tobillo; GC: grupo de control sano; ABD: fuerza de los abductores de la cadera; ADD: fuerza de los aductores de la cadera; SD: desviación estándar; LI: límite de confianza inferior fijado en el 95%; LS: límite de confianza superior fijado en el 95%; A: diferencias respecto al grupo de control sano; B: diferencias entre la extremidad operada y la no operada; C: diferencias entre las evaluaciones de 6 y 12 meses

Análisis correlacional

A los 6 y 12 meses después de la cirugía, una menor distancia alcanzada en YBT_A se asoció significativamente con un menor FDT_{ROM} ($0.535 \leq r \leq 0.685$) con una menor fuerza de ABD y ADD ($0.613 \leq r \leq 0.773$) y con un mayor tiempo de rehabilitación ($-0.448 \leq r \leq -0.516$). En el YBT_{CS} los resultados fueron similares, que se asoció positivamente con el FDT_{ROM} (6 meses: $r = 0.512$), con la fuerza de la ABD y ADD ($0.514 \leq r \leq 0.664$) (tabla 9). Un menor YBT_{CS} también se asoció con un mayor tiempo de rehabilitación ($-0.518 \leq r \leq -0.540$). En cuanto al equilibrio estático, únicamente a los 6 meses la prueba de T_{TO} se asoció con el FDT_{ROM} ($r = -0.432$), con el tiempo de inmovilización ($r = 0.476$) y con el periodo de descarga ($r = 0.446$), lo que indicaba que la DIS_{COP} era mayor cuanto menor era el FDT_{ROM} , mayor era el tiempo de inmovilización y mayor era el periodo de descarga (tabla 9).

A los 6 y a los 12 meses, unos resultados más bajos en el $AOFAS_{AH}$, principalmente en el dominio de función, se asociaron significativamente con un peor rendimiento del YBT_A ($0.454 \leq r \leq 0.674$), con un menor FDT_{ROM} ($0.479 \leq r \leq 0.751$) y con una menor fuerza de ABD y ADD ($0.472 \leq r \leq 0.716$). Asimismo, a los 12 meses unos valores más bajos en el dominio de función del $AOFAS_{AH}$ se asociaron con un peor rendimiento en el YBT_{CS} ($r = 0.490$). Además, un peor resultado en el $AOFAS_{AH}$ y en sus dominios también se asociaron con un mayor tiempo de rehabilitación a los 6 meses ($-0.640 \leq r \leq -0.815$). A los 6 y a los 12 meses, unas puntuaciones bajas en el $OMAS$ se asociaron con un peor rendimiento en el YBT_A ($0.477 \leq r \leq 0.547$), con un menor FDT_{ROM} ($0.451 \leq r \leq 0.564$), con una menor fuerza de la ABD y ADD ($0.465 \leq r \leq 0.642$) y con un mayor tiempo de rehabilitación solo a los 6 meses ($r = -0.553$) (tabla 9). Además, a los 6 y 12 meses un menor FDT_{ROM} se asoció con un mayor tiempo de inmovilización ($-0.438 \leq r \leq -0.480$), con un mayor periodo de descarga ($-0.467 \leq r \leq -0.561$) y con un mayor tiempo de rehabilitación, pero sólo a los 6 meses ($r = -0.598$) (tabla 9).

Por último, la edad estaba inversamente correlacionada con algunas tareas de equilibrio dinámico a los 6 y 12 meses: YBT_A , YBT_{PM} , YBT_{CS} ($-0.500 \leq r \leq -0.717$), con una menor fuerza de la cadera ($-0.454 \leq r \leq -0.499$), y con puntuaciones más bajas del $AOFAS_{AH}$, pero sólo a los 6 meses ($r = -0.467$) (tabla 9).

Tabla 9. Correlaciones entre los parámetros evaluados a los 6 meses (de izquierda a derecha, color: gris claro) y a los 12 meses (de arriba a abajo, color: blanco)

	T.												AOFAS		OMAS			
	UOA _{TO}						TOA _{TO}						Ankle-Hindfoot					
	YBT _A	YBT _{PM}	YBT _{CS}	DIS _{CO}	DIS _{CO}	DIS _{CO}	YBT _A	YBT _{PM}	YBT _{CS}	DIS _{CO}	DIS _{CO}	DIS _{CO}	Dolor	Función				
YBT _A	.705**	.862**	-.124	-.174	.150	-.500*	-.275	-.352	-.516*	-.194	-.122	-.535*	.737**	.773**	.440*	.674**	.637**	.547*
YBT _{PM}	.648**	.904**	.084	-.126	-.052	-.575**	-.347	-.178	-.372	-.008	-.104	.341	.394	.427	.177	.345	.290	.090
YBT _{CS}	.815**	.912	-.133	-.082	-.010	-.597**	-.337	-.260	-.540*	-.177	.079	.512*	.664**	.409	.210	.378	.325	-.055
UOA _{TO} DIS _{CO}	-.129	.093	-.044	.709	.482*	.242	.368	.225	.128	-.312	.485*	-.162	-.070	-.036	-.145	-.266	-.197	-.121
TOA _{TO} DIS _{CO}	-.140	-.214	-.035	.226	.749**	.358	.476*	.446*	.150	-.151	.442	-.432*	-.055	-.049	.023	-.309	-.178	-.130
TOA _{TO} V _{CO}	-.304	-.214	-.261	-.037	.271	.272	-.094	-.263	.154	-.419	.354	-.347	-.092	-.218	-.069	-.031	-.096	-.106
Edad	-.501*	-.717**	-.708**	.301	.301	.322	.322	.218	.381	-.180	-.092	-.295	-.374	-.494*	-.344	-.402	-.467*	-.396
T. Innov.	-.285	-.374	-.259	.354	.327	.327	.327	-.009	.020	-.032	.413	-.438*	-.067	-.226	.104	-.162	-.014	.016
T. Descarga	-.380	-.416	-.412	.072	.131	.218	.020	-.009	.135	.229	-.158	-.467*	-.322	-.381	-.025	-.302	-.198	-.261
T. Rehabilitación	-.448*	-.257	-.518*	.176	.176	.381	-.009	.135	-.286	-.126	-.126	-.598**	-.235	-.267	-.640**	-.815**	-.783**	-.553*
PP	.217	.180	.402	.004	-.136	.036	-.167	-.010	.229	-.012	-.012	.000	-.566*	-.384	.444*	.038	.247	-.084
PB	.044	.085	.262	-.081	-.007	.176	.031	-.141	-.019	.597**	-.019	.016	.028	-.043	-.050	-.116	-.106	-.193
FDI _{ROM}	.685**	.568**	.320	-.139	-.268	-.414	-.480*	-.561**	-.349	-.450*	-.044	-.434*	.326	.319	.647**	.479*	.451*	.451*
ABD	.613**	.638**	.594**	.193	-.330	-.499*	-.193	-.360	-.216	.253	-.008	.510*	.812**	.812**	.224	.465*	.403	.592**
ADD	.718**	.722**	.514*	.227	-.305	-.454*	-.323	-.312	-.384	.178	.127	.659**	.841**	.295	.146	.259	.472*	.582**
AOFAS Dolor	.395	.128	.254	.436	.079	-.038	.029	-.056	-.397	.512*	-.042	.494**	.295	.637**	.855**	.653**	.909**	.699**
Ankle-Hindfoot	.496*	.302	.490*	.379	-.131	-.236	-.231	-.364	-.415	-.054	-.078	.751**	.557**	.743**	.896**	.896**	.896**	.786**
AOFAS Función	.454*	.235	.357	.430	-.019	-.153	-.060	-.194	-.372	-.112	-.087	.632**	.483*	.716**	.970**	.940**	.940**	.853**
Ankle-Hindfoot	.477*	.247	.092	.387	-.027	-.250	.033	-.166	-.346	-.216	-.103	.564**	.465*	.642*	.881**	.819**	.892**	.892**

*p<0.005; **p<0.001. YBT_A: Y-balance Test dirección anterior; YBT_{PM}: Y-balance Test dirección postero-medial; YBT_{CS}: Y-balance Test Composite score; UOA_{TO}: equilibrio unipodal con los ojos abiertos con el tobillo operado; TOA_{TO}: tándem con ojos abiertos y el tobillo operado detrás del sano; DIS_{CO}: Trayectoria máxima de recorrido del centro de presiones; V_{CO}: Velocidad media del centro de presiones; T. Innov: tiempo de inmovilización; T. Descarga: tiempo de descarga; T. Rehabilitación: tiempo de rehabilitación; PP: Perímetro de la pantorrilla; PB: Perímetro bimalleolar; FDI_{ROM}: Rango de movimiento de flexión dorsal del tobillo; ABD: fuerza de los abductores de la cadera; AOFAS: American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Score; OMAS: Olerud-Molander Ankle Score. Solo se realizaron correlaciones entre la extremidad operada y las tareas de equilibrio que mostraron diferencias significativas entre la extremidad operada y la no operada a los 6 y 12 meses de evaluación.

Análisis de regresión multivariante

Se llevo a cabo un análisis de regresión lineal múltiple para evaluar en que medida el FDT_{ROM} y la fuerza de los ABD y ADD podían predecir el resultado del YBT_A y del YBT_{CS} ya que fueron las pruebas de equilibrio que mostraron más de una correlación simple a los 6 y a los 12 meses después de la cirugía. También fue realizado en el YBT_{PM} solo a los 12 meses. Dado que la fuerza de la cadera de ABD y ADD eran parámetros colineales ($r > 0.7$), se utilizó el promedio de ambos parámetros para el análisis de regresión lineal. Las suposiciones de normalidad, linealidad y homocedasticidad fueron previamente confirmadas para el FDT_{ROM} y en la fuerza de la cadera.

El análisis de regresión lineal múltiple a los 6 meses para el YBT_A mostró una ecuación de regresión significativa ($F_{2,19}=18.310$, $p<0.001$), con un R^2 de 0.658. El YBT_A predicha es igual a $15.486 + 0.485 (FDT_{ROM}) + 0.767$ (fuerza ABD-ADD), en la que el FDT_{ROM} se mide en grados y la fuerza ABD-ADD se mide en unidades de fuerza relativas a la masa corporal (fuerza en $kg \times 100 /$ masa corporal en kg). A los 12 meses también mostró una ecuación significativa para YBT_A . Dicha ecuación fue: ($F_{2,18}=13.160$, $p<0.001$), con un R^2 de 0.594. El YBT_A predicha es igual a $24.365 + 0.395 (FDT_{ROM}) + 0.858$ (fuerza ABD-ADD).

En el YBT_{CS} y el YBT_{PM} solo mostró ser significativa la fuerza de cadera.

Análisis de pesos relativos

Los análisis RWA se llevaron a cabo para los resultados del FDT_{ROM} , el YBT_A , el YBT_{PM} , el YBT_{CS} y para las puntuaciones obtenidas en el $AOFAS_{AH}$ y el $OMAS$ observadas a los 12 meses después de cirugía (tabla 10). El análisis de la RWA en el UOC_{TO} no se llevó a cabo porque este parámetro no correlacionó con ninguna de las diferentes medidas a los 6 meses. En el modelo para YBT_A (63% varianza total explicada), las variables explicativas que mostraron un peso significativo fueron el FDT_{ROM} (20%) y la fuerza de la cadera (ABD: 17%; ADD: 26%). Ninguna de las variables clínicas mostró un peso significativo en el modelo del YBT_A . Los modelos del YBT_{PM} y del YBT_{CS} incluían la edad: 40% y 40%, respectivamente, y la fuerza ABD: 24% y 20%, respectivamente. En cuanto a los cuestionarios de funcionalidad del tobillo, sólo la fuerza de la cadera mostró un peso significativo (ABD: 25%; ADD: 19%) en el modelo $AOFAS_{AH}$ (44% varianza total explicada). En el dominio de función del

AOFAS_{AH} la varianza total explicada fue del 47%. El modelo incluía el FDT_{ROM} (16%), la fuerza de la ABD (15%) y de la ADD (16%). El modelo del OMAS (35% varianza total explicada) sólo incluía la fuerza de ADD (17%) y la fuerza de ABD (18%) como variables predictoras significativas. En el caso del FDT_{ROM} la varianza total explicada fue 55% y sólo el tiempo de inmovilización y el periodo de descarga tenían un peso relativo significativo que explicaban el 23% y el 32% de la varianza total, respectivamente. Ninguna de las variables clínicas fue predictora de la fuerza de la cadera. Ninguno de los parámetros mostró un peso significativamente mayor que otros para predecir ninguno de los análisis de la RWA. La figura 15 muestra las relaciones lineales de cada variable predictora en la predicción del YBT_A a los 12 meses y en AOFAS_{AH} en su dominio de función.

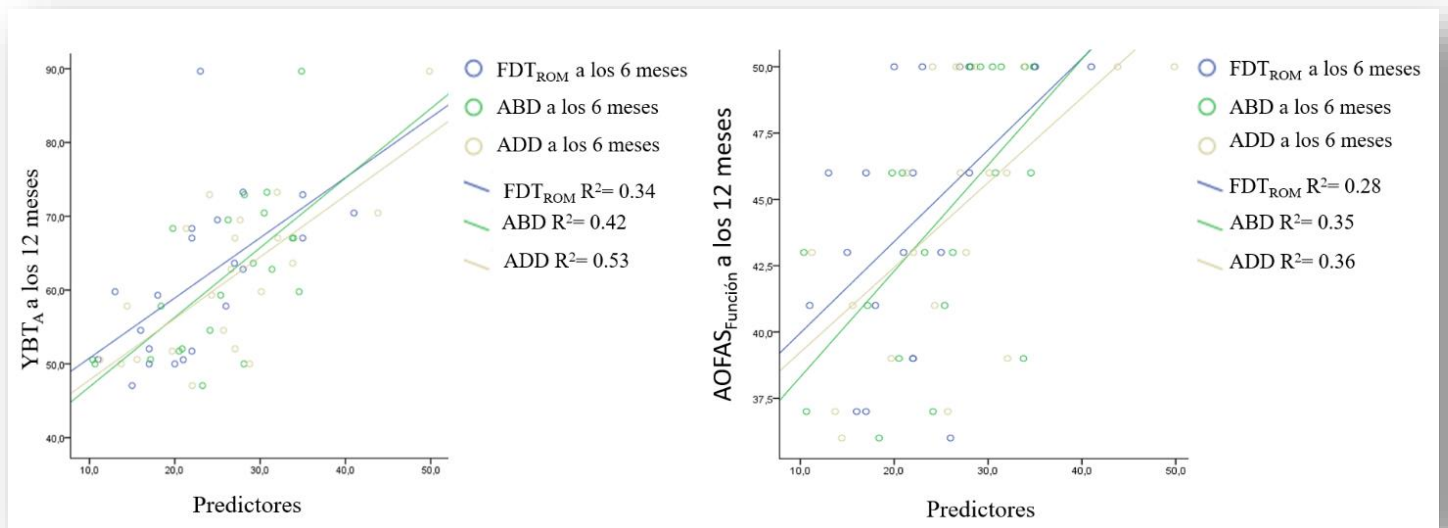


Figura 15. Regresión lineal de las variables predictoras (FDT_{ROM}, fuerza de los abductores y de los aductores de cadera) en el YBT_A y el AOFAS en su dominio que evalúa la función

Tabla 10. Varianza explicada (%; R2 ajustada) hallada mediante el “análisis del peso relativo” de distintos factores valorados a los 6 meses después de la cirugía en pacientes con fractura bimalleolar de tobillo y de diversas variables clínicas sobre los resultados mostrados en el YBT, en los cuestionarios AOFAS_{AH} y OMAS y en el FDT_{ROM} a los 12 meses después de la cirugía

Variables independientes	Varianza total	Varianza explicada por cada factor						
		Edad	Flexión dorsal ROM	Fuerza de ABD	Fuerza de ADD	Tiempo de inmovilización	Tiempo de descarga	Tiempo de rehabilitación
YBT _A	63%		20 (2.4; 44.0)	17 (2.8; 25.1)	26 (7.0; 56.0)			
YBT _{PM}	64%	40 (16.0; 58.0)		24 (7.6; 4.3)				
YBT _{CS}	60%	40 (10.0; 63.1)		20 (1.9; 40.7)				
AOFAS _{AH}	Total	44%		25 (5.4; 44.4)	19 (5.3; 29.0)			
	Función	47%		16 (2.6; 32.8)	15 (3.5; 28.4)	16 (5.1; 27.7)		
OMAS	35%			18 (1.4; 40.1)	17 (2.7; 28.1)			
FDT _{ROM}	55%					23 (6.9; 42.7)	32 (13.1; 47.0)	

IC: Intervalo de confianza al 95%; YBT_A: Y-balance test dirección anterior; YBT_{PM}: Y-balance test dirección posteromedial; YBT_{CS}: Y- Balance test composite score; FDT_{ROM}: rango de movimiento de flexión dorsal de tobillo; Fuerza ABD: fuerza de los abductores de la cadera; Fuerza ADD: fuerza de los aductores de la cadera; AOFAS_{AH}: American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-hindfoot score; OMAS: Olerud Molander Ankle Score.

4.4 Discusión

Este trabajo evalúa cómo se ven afectados el equilibrio, la flexión dorsal del tobillo y la fuerza de la cadera en personas intervenidas quirúrgicamente tras fracturas bimalleolares de tobillo y cómo evolucionan de los 6 y a los 12 meses de la cirugía. Como segundo objetivo, se exploró la relación entre las capacidades físicas y las variables clínicas, con los cuestionarios de funcionalidad del tobillo para entender qué impacto tenían todos estos factores en la recuperación del equilibrio, de la flexión dorsal de tobillo y del estado funcional de estos pacientes.

4.4.1 Progresión y restablecimiento del equilibrio, del rango de movimiento del tobillo y de la fuerza de la cadera de los 6 a los 12 meses después de la cirugía

Abordar los problemas de equilibrio es un elemento esencial en la rehabilitación de las personas que han sufrido una fractura de tobillo. Nuestros resultados mostraron que las personas con fracturas bimalleolares de tobillo tanto a los 6 como a los 12 meses de la cirugía presentaban déficits de equilibrio en su extremidad operada en comparación con la no operada; sin embargo, estos déficits principalmente se observaron durante la realización de las tareas de equilibrio dinámico. En concreto, el déficit de equilibrio más significativo se observó cuando las personas con fractura bimalleolar de tobillo realizaron YBT en la tarea de alcance en la dirección anterior, en la que mostraron un déficit bilateral del 9.4% a los 6 de la cirugía. Es importante señalar que las asimetrías entre extremidades persistieron de forma significativa a los 12 meses en el YBT_A (5.6%). Estos hallazgos coinciden con estudios previos en los que también se han detectado asimetrías en sujetos con lesiones de tobillo en el YBT_A (DeJong et al., 2019; Ryu et al., 2019). Además, es importante señalar que en el grupo de sujetos sanos no fueron detectadas asimetrías significativas lo cual también coincide con lo reportado anteriormente (Gribble & Hertel, 2003). Por lo tanto, estos resultados confirman que en nuestra muestra de las personas con una fractura bimalleolar de tobillo después de la cirugía presentan un deterioro del equilibrio que perdura a largo plazo y que esos déficits de equilibrio son detectados cuando se evalúa el equilibrio dinámico con tareas exigentes como el YBT.

Por el contrario, cuando se evaluó el equilibrio mediante tareas posturográficas estáticas, se observaron pocas diferencias entre las extremidades y estas se detectaron principalmente a los 6 meses, pero no a los 12 meses de la cirugía. Por lo tanto, parece que las diferencias entre extremidades en las tareas de equilibrio estático se normalizan a

los 12 meses después de la cirugía. Este hallazgo también parece estar respaldado por trabajos previos los cuales han encontrado unas diferencias mínimas (inferiores al 10% que se ha comunicado en sujetos sanos) o no han encontrado diferencias entre extremidades en las tareas de equilibrio estático a largo plazo después de la cirugía en las personas que han sufrido una fractura de tobillo (Ageberg et al., 2001; Nilsson et al., 2006). Cabe señalar que las personas con fracturas bimalolares de tobillo a los 12 meses de la cirugía sí mostraron un déficit de equilibrio en la extremidad operada y en la no operada en comparación con los sujetos sanos en la tarea estática realizada con los ojos cerrados. Contrariamente a este hallazgo, a los 6 meses las personas con fractura bimaloleolar de tobillo no mostraron un déficit de equilibrio frente a los controles en esta tarea. Aunque la falta de diferencias encontradas a los 6 meses podría estar influenciada por el menor número de sujetos que pudieron realizar esta tarea lo que implica una menor potencia estadística en el análisis, también podría ser un hallazgo aleatorio por lo que consideramos que estos resultados deben ser interpretados con cautela. Sería necesario realizar investigaciones futuras en esta línea con un mayor número de pacientes operados tras una fractura bimaloleolar de tobillo que permitiese evaluar y confirmar si estos resultados son válidos. Desde el punto de vista de los autores, y apoyado en hallazgos previos en pacientes con otras lesiones de tobillo, el hecho de que las personas con fracturas bimaloleolares de tobillo no presentaran diferencias entre las extremidades, pero si presentaran un peor equilibrio que los sujetos sanos, puede sugerir que los déficits de equilibrio podrían estar asociados tanto a mecanismos periféricos como centrales (Bastien et al., 2014; Hubbard et al., 2007b; Jaber et al., 2018; K.-M. Kim, 2020; McVey et al., 2005). Como consecuencia de esto, el rendimiento en esta tarea exigente de equilibrio podría estar alterado bilateralmente, como previamente se ha observado en otras poblaciones con lesiones de tobillo (Evans et al., 2004; Wikstrom et al., 2010). Por otra parte, también surge la hipótesis que estas personas con fractura bimaloleolar de tobillo podrían tener una mayor dependencia visual, la cual podría aumentar a medida que la complejidad de la tarea postural aumenta (ojos abiertos-cerrados) como también se ha reportado en otras poblaciones con lesión de tobillo (K.-M. Kim, 2020).

Finalmente, aunque la flexión dorsal de la extremidad operada mejoró significativamente en el seguimiento, las diferencias entre extremidades (7.43°) persistieron significativas a los 12 meses. Este hallazgo concuerda con trabajos previos los cuales también han detectado una limitación de la flexión dorsal de tobillo a largo plazo después de la cirugía

(Albin et al., 2019; Lindsjö, 1985; Nilsson et al., 2003). En cuanto a las asimetrías en la fuerza de la cadera, se observó una menor fuerza de abducción en la extremidad operada a los 6 meses, pero a los 12 meses los valores fueron similares.

4.4.2 Análisis correlacional

Observamos como un peor rendimiento en las tareas de equilibrio dinámico (YBT_A , YBT_{PM} (a los 12 meses) y YBT_{CS} (a los 6 meses) estuvieron correlacionados con los déficits de la fuerza de abducción y aducción de la cadera y también con los déficits del FDT_{ROM} , lo que confirma la relevancia que tienen la flexibilidad del tobillo y la fuerza muscular de la cadera para el rendimiento de las tareas de equilibrio dinámico en apoyo unipodal como ha sido descrito en personas con fracturas de tobillo (Albin et al., 2019; Salas-Gómez et al., 2020) o en personas con inestabilidad de tobillo (Basnett et al., 2013; Bisson et al., 2011; Hubbard et al., 2007a; McCann et al., 2017; Terada et al., 2014).

Cabe destacar la correlación encontrada entre la fuerza de ABD y ADD de cadera y el rendimiento mostrado en el YBT_A de la extremidad de apoyo (operada). Estos datos no son coherentes con los encontrados por otros estudios en personas con inestabilidad de tobillo, en los que la fuerza de ABD de cadera se relaciona principalmente con el rendimiento mostrado en las direcciones posteromedial y posterolateral del YBT (Hubbard et al., 2007a; McCann et al., 2017). Centrándonos en la extremidad operada, desde el punto de vista de los autores, una posible hipótesis sobre la correlación encontrada entre el YBT_A y la fuerza de la cadera podría ser que en estos pacientes se aumente la dependencia de los músculos de la cadera en aquellas tareas en las que hay una función más deficiente del tobillo (es decir, menor FDT_{ROM}). Así pues, esta mayor dependencia del complejo neuromuscular de la cadera podría hacer que la fuerza de ABD y ADD de cadera fuera un parámetro determinante para mantener el equilibrio, estabilizando los movimientos de la pelvis en el plano frontal (Jaber et al., 2018).

Curiosamente, también observamos como un peor rendimiento del equilibrio durante la posición de tándem con la extremidad operada detrás de la no operada, se correlacionaba con un menor FDT_{ROM} de la extremidad operada, pero no con una menor fuerza de la cadera. Una hipótesis que podría explicar porque el YBT_A y la prueba de tándem se correlacionan con diferentes parámetros, puede estar relacionada con la forma en la que las personas restablecen el equilibrio en función de la magnitud de las alteraciones posturales y en función de su base de apoyo. Durante la posición de tándem, el control

neuromuscular del tobillo parece ser suficiente para hacer frente a las pequeñas perturbaciones corporales que se producen durante esta tarea (es decir, la estrategia del tobillo), por lo que el estado físico del tobillo en esta posición sería clave para un correcto mantenimiento del equilibrio (Kanamiya et al., 2010). Por ejemplo, basándonos en nuestros resultados, una limitación en la flexión dorsal del tobillo puede dificultar la transferencia del peso del cuerpo desde la extremidad operada a la no operada que esta delante, una estrategia que podrían adoptar estos pacientes para mantener el equilibrio en esta posición (Gillette & Abbas, 2003). Debido a ello, aquellas personas con fractura bimalleolar de tobillo que mostraron una limitación de la flexión dorsal del tobillo operado presentaron un peor rendimiento en esta posición. Sin embargo, la realización de acciones dinámicas de alcance sobre una sola extremidad (es decir, el YBT) requiere la participación de la cadera (es decir, la estrategia de la cadera) para hacer frente a unas mayores perturbaciones del equilibrio (Kanamiya et al., 2010).

En cuanto a los cuestionarios funcionales, un trabajo previo observó que el grado de movimiento de flexión dorsal de tobillo era el factor más correlacionado con la puntuación del OMAS a los 14 meses después de la cirugía de tobillo (Nilsson et al., 2006). Nuestros resultados correlacionales observados en el OMAS y el AOFAS_{AH} parecen apoyar estos hallazgos; no obstante, el equilibrio dinámico y la fuerza de la cadera en este estudio, también fueron factores altamente correlacionados con los cuestionarios. Estos resultados no son sorprendentes, ya que otros autores han destacado que tanto el complejo neuromuscular del tobillo como el de la cadera son importantes para la movilidad una persona y para realizar habilidades funcionales (Bisson et al., 2011; Jaber et al., 2018; M.-K. Kim & Kim, 2015). En cuanto a la medición del perímetro de la pantorrilla, esperábamos encontrar una correlación con el estado funcional de estas personas, ya que este parámetro se considera un buen predictor de la masa muscular y, por tanto, de la fuerza muscular (Tsai & Chang, 2011); sin embargo, no encontramos ninguna correlación significativa

4.4.3 Análisis del peso relativo

Realizamos RWAs para explorar en qué medida los parámetros clínicos y los físicos obtenidos a los 6 meses después de la cirugía predicen de forma exhaustiva el estado físico y funcional de las personas con fractura bimalleolar de tobillo a los 12 meses después de la

cirugía. Nuestros resultados mostraron que el FDT_{ROM} y la fuerza de la cadera que las personas con fractura bimalleolar de tobillo tenían a los 6 meses explicaban una varianza notable de la puntuación en el dominio de funcionalidad de la $AOFAS_{AH}$ que las personas con fractura bimalleolar de tobillo tenían a los 12 meses. Sin embargo, en las puntuaciones totales del OMAS y del $AOFAS_{AH}$ a los 12 meses sólo la fuerza de la cadera mostró un carácter predictor teniendo un peso significativo en la explicación de la varianza de estos. Se encontraron resultados similares para predecir el rendimiento en el equilibrio dinámico que las personas con fractura bimalleolar de tobillo tenían a los 12 meses después de la cirugía, especialmente cuando la prueba del YBT se realizó en el plano sagital (YBT_A). Por lo tanto, el FDT_{ROM} y la fuerza de la cadera observadas a medio plazo parecen ser variables predictivas de una mejor funcionalidad y equilibrio a largo plazo. Estos resultados confirman el carácter predictivo tanto del ROM del tobillo como de la fuerza muscular de la cadera para el rendimiento en las tareas de equilibrio, el cual ha sido reportado anteriormente en diferentes poblaciones (Bisson et al., 2011; M.-K. Kim & Kim, 2015; López-Valenciano et al., 2019). Es importante destacar el papel relevante de la fuerza de la cadera en el rendimiento del equilibrio y en el estado funcional de estos pacientes ya que este no es un parámetro físico que se vea directamente afectado por la fractura bimalleolar de tobillo y la posterior cirugía, pero sí se afecta de forma secundaria en estos pacientes. Nuestros hallazgos refuerzan el papel de la fuerza de la cadera sobre el rendimiento del equilibrio dinámico en aquellos casos en los que existe un déficit de tobillo, como ha sido bien documentado por trabajos previos realizados en personas con inestabilidad crónica de tobillo (Hubbard et al., 2007a; McCann et al., 2017), por lo que los ejercicios de fortalecimiento de la cadera deberían incluirse en la rehabilitación de esta población. Por otro lado, cabe destacar que tras el análisis multivariante (RWA), la edad no mostró ser un predictor significativo de un peor o mejor estado funcional o del YBT_A , como se ha informado anteriormente (Nilsson et al., 2006). La edad sólo mostró tener un peso significativo en el rendimiento del YBT_{PM} y el YBT_{CS} , las cuales no fueron las pruebas más afectadas en las personas con fractura bimalleolar de tobillo de este estudio.

Es interesante señalar que las variables clínicas (por ejemplo, el tiempo de inmovilización, el período de descarga o el tiempo de rehabilitación) no se mostraron como predictores significativos para un mejor resultado en los modelos de estado funcional o del rendimiento del equilibrio. Estos resultados apoyan los hallazgos de

Hancock et al., en los que no observaron una asociación entre el tiempo de rehabilitación y unos mejores resultados en las personas con fractura de tobillo. En este sentido, estos autores sugieren que la falta de relación entre estas variables pudo estar sesgada por el hecho de que las fracturas que requirieron mayor tiempo de rehabilitación fueron las más graves, lo cual pudo ocurrir también en nuestro estudio (Hancock et al., 2005).

Una cuestión importante que nos parece relevante destacar es que cuanto menor fue el tiempo de inmovilización y de descarga después de la cirugía, mayor fue la recuperación (54% de la varianza explicada) del movimiento de flexión dorsal del tobillo a los 12 meses. Aunque en este sentido la evidencia actual sugiere que la movilización del tobillo precoz y la carga de peso temprano después de la cirugía reducirían la estancia hospitalaria, acelerarían la vuelta al trabajo y promoverían la recuperación temprana del movimiento del tobillo (Black et al., 2013; Gul et al., 2007; Jansen et al., 2017; Smeeing et al., 2015). Sin embargo, la literatura también sugiere que un protocolo de carga de peso precoz también puede dar lugar a mayores complicaciones, algunas de las cuales son el desplazamiento de la fractura o la infección, por lo que sugieren que este protocolo sólo podría llevarse a cabo en los casos en los que exista una correcta reducción quirúrgica y una buena calidad ósea (Black et al., 2013; Smeeing et al., 2015). Sin embargo, algunos estudios no encuentran unas diferencias claras en las tasas de complicaciones entre los que realizan una carga temprana y los que siguen el protocolo habitual por lo que cada vez la evidencia es más firme en apoyar la movilización y carga de peso temprana (Gul et al., 2007; Smeeing et al., 2020). Por tanto, en base a nuestros resultados y a las evidencias actuales se considera relevante establecer futuros ensayos clínicos que sigan investigando y profundicen en el impacto de estas variables en los diferentes protocolos postoperatorios.



CAPÍTULO 5

TRABAJO 3

Cambios en la estrategia motora y control neuromuscular durante las tareas de equilibrio en personas con fractura bimalleolar de tobillo

Diana Salas-Gómez, Mario Fernández-Gorgojo, Pascual Sánchez Juan, María Isabel Pérez-Núñez, Esther Laguna-Bercero, David Barbado

Cambios en la estrategia motora y control neuromuscular durante las tareas de equilibrio en personas con fractura bimalleolar de tobillo

5.1 Introducción

Tal como muestran trabajos previos y como en los capítulos anteriores se recoge, tras una fractura de tobillo se ve afectado el equilibrio durante tareas estáticas exigentes que requieren un apoyo unipodal, o en tareas dinámicas como en el Star Excursión Balance test o en el Y-Balance test (Albin et al., 2019; Dudek et al., 2014; Nilsson et al., 2003; Salas-Gómez et al., 2020). Se sabe que para mostrar un adecuado control postural es necesario que el sistema nervioso central integre la información aferente de los sistemas vestibular, visual y somatosensorial (Barbado Murillo et al., 2012; Loram et al., 2005; Peterka, 2002). Asimismo, se necesita un adecuado estado neuromuscular como elemento esencial a la hora de contrarrestar los momentos externos generados por la gravedad y/o “perturbaciones externas”, generando una fuerza correctiva y estabilizadora que permite mantener la estabilidad postural y la orientación en relación a la gravedad (Barbado Murillo et al., 2012; J. Li et al., 2020; Loram & Lakie, 2002; Peterka, 2002). Por tanto, las alteraciones neuromusculares durante las tareas de equilibrio afectan a la calidad del movimiento, lo que puede dar lugar a un deterioro funcional prolongado (Jaber et al., 2018). Por ello, es de suma importancia investigar sobre el papel que desempeña la musculatura de la extremidad inferior en los déficits de equilibrio detectados en las personas operadas tras fracturas bimalleolares de tobillo a partir de herramientas biomecánicas fiables como puede ser la electromiografía (EMG).

Pese a no haber trabajos previos que evalúen el comportamiento neuromuscular en las tareas de equilibrio en esta población, estudios realizados con EMG en otras poblaciones con lesiones de tobillo han detectado patrones alterados de activación muscular durante diversas tareas funcionales y/o de equilibrio como, por ejemplo, retrasos en la activación en el peroneo o en el tibial anterior (Jaber et al., 2018; Molina-Rueda et al., 2021; Van Deun et al., 2007; Webster et al., 2016). Concretamente, los sujetos con inestabilidad crónica de tobillo (CAI) muestran una menor activación y un retardo de la misma en los

músculos del tobillo durante movimientos de transición de la posición bipodal a la unipodal (Van Deun et al., 2007). Asimismo, se ha observado una menor activación del tibial anterior en test funcionales como en el Star excursion test (SEBT) (Jaber et al., 2018). Además, ciertos cambios neuromusculares no solo se localizan en la zona de la lesión (tobillo) sino que también han sido detectados en zonas remotas a la lesión como en el recto femoral, el cual ha mostrado una menor amplitud de activación en tareas de equilibrio (Feger et al., 2014), o en el glúteo mayor de la cadera con un menor porcentaje de activación en el SEBT o el rotational squat (Jaber et al., 2018; Webster & Gribble, 2013). Estas adaptaciones en zonas remotas pueden constituir estrategias adaptativas o compensatorias que adoptan o desarrollan los pacientes para poder realizar ciertas tareas funcionales (Beckman & Buchanan, 1995). Por ello, el análisis de la musculatura de la extremidad inferior mediante electromiografía de superficie durante las tareas de equilibrio o funcionales como el YBT, podrían proporcionar una mayor comprensión sobre las estrategias neuromusculares utilizadas para mantener la estabilidad postural por las personas que han sufrido una fractura bimalleolar de tobillo. Además, conocer el comportamiento neuromuscular durante estas tareas tiene un importante valor clínico ya que podrá ayudar a guiar al clínico en la evaluación y el abordaje, dando una idea de cómo la rehabilitación puede ser adaptada para dirigirse específicamente y mejorar los resultados de las personas con fracturas de tobillo.

En base a los hallazgos detectados en otras poblaciones con lesión de tobillo, así como a las características propias de las personas con fracturas bimalleolares de tobillo intervenidos quirúrgicamente, los autores consideran razonable pensar que tras una fractura bimalleolar de tobillo también se den cambios neuromusculares en la extremidad inferior operada y que estos puedan contribuir a los déficits de equilibrio detectados previamente en esta población (Ward et al., 2015). Por ello, este trabajo persigue comprender y profundizar en los déficits de equilibrio detectados previamente en esta población y su principal objetivo es detectar y describir las adaptaciones neuromusculares a medio (6 meses) y largo plazo (12 meses) de la cirugía en las personas operadas de fracturas bimalleolares de tobillo durante las tareas de equilibrio estático y dinámico. Así mismo este estudio persigue evaluar la relación entre el patrón neuromuscular, los déficits de equilibrio y musculoesqueléticos detectados en esta población.

5.2 Método

Se trató también de un trabajo longitudinal analítico y también se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis del Movimiento de las Escuelas Universitarias Gimbernat-Cantabria adscritas a la Universidad de Cantabria.

5.2.1 Participantes

El estudio fue realizado con la misma cohorte de sujetos que en los capítulos anteriores (ver capítulos anteriores para ver una descripción detallada de los participantes; *capítulo 3, apartado 3.2.1 participantes, páginas 61-63*), a la cual se hizo el seguimiento de un año a las personas que habían sido operadas por la Unidad de Traumatología del Hospital Marqués de Valdecilla después de una fractura bimaléolar de tobillo. 15 participantes fueron evaluados con EMG a los 6 meses y 21 a los 12 meses después de la cirugía.

5.2.2 Procedimiento

Cada una se dividió en tres partes

**La metodología de las sesiones de evaluación ha sido descrita en anteriores capítulos. Se desarrollan en este capítulo los protocolos de medición anteriormente no descritos.*

Previamente a realizar las pruebas de equilibrio se procedió a colocar los electrodos de EMG para registrar la actividad muscular durante las pruebas.

Instrumentalización y colocación de los electrodos para la evaluación de la actividad muscular

La actividad muscular fue registrada mediante un sistema de electromiografía inalámbrico de 16 canales (DTS DESKTOP myoMUSCLE[®], Noraxon, 15770 North Greenway-Hayden Loop, Suite 100, Scottsdale, Arizona 85260) (Baumgarten et al., 2020). Cada sensor está compuesto por un preamplificador de la señal (1st order high-pass filters set to 10Hz +/- 10%, cutoff, ruido de base <1uV RMS, impedancia input >100Mohm, rango de input/-6.3mV, CMR 100dB, ganancia base 200 y ganancia final 500) al cual se unen dos pinzas que van conectadas a los electrodos que están colocados en los músculos que se van a registrar. El preamplificador envía la señal a un receptor y

este va conectado al ordenador mediante un USB. El sistema de EMG fue dirigido mediante el software NORAXON 3.6. El registro fue realizado a un muestreo de 1500 Hz.

Colocación del EMG

Para la colocación de los sensores se siguieron las recomendaciones SENIAM (Hermens et al., 2000). Los grupos musculares registrados bilateralmente fueron: *tibial anterior* (se realizó una marca a 1/3 de la línea entre la zona más prominente del peroné y la zona más prominente del maléolo medial), *el peroneo lateral* (se realizó una marca en el 25% de la línea entre la zona más prominente de la cabeza del peroné y la zona más prominente del maléolo lateral), *gastrocnemio lateral* (se realizó una marca a 1/3 de la línea entre la cabeza del peroné y el talón), *vasto interno* del cuádriceps (se realizó una marca en el 80% de la línea entre la espina iliaca anterosuperior y la línea articular de la rodilla (por delante del ligamento medial de la rodilla), *bíceps femoral* (se realizó una marca en el 50% en la línea entre la tuberosidad isquiática y el epicóndilo lateral de la tibia) y *glúteo medio* (se realizó una marca en el 50% de la distancia entre de la crista iliaca y el trocánter mayor).

Posteriormente se realizó la preparación de la piel. Para ello primero se rasuro la zona de piel y posteriormente se procedió a limpiar la zona con un algodón humedecido en alcohol. Se dejó secar la piel y se procedió a colocar los electrodos MIOTRACE de espuma con hidrogel adhesivo conductor de la casa Covidiem de 38 mm. La distancia entre electrodos fue de 20 mm y se situaron paralelos a las fibras musculares. Tras esto, se colocaron los sensores de EMG y los amplificadores fueron adheridos a la piel mediante cinta adhesiva de doble cara y se situaron en una zona de la piel donde no interfiriesen a la hora de realizar las pruebas de equilibrio. La figura 16 muestra la colocación de los sensores de EMG (foto realizada en la sesión de evaluación de una de las personas con fractura bimalleolar de tobillo a los 12 meses después de la cirugía).

Para poder normalizar la señal de EMG, se realizaron 2 contracciones isométricas máximas voluntarias (MCV) de cada grupo muscular (Besomi et al., 2020; Halaki & Ginn, 2012). El esfuerzo máximo fue mantenido durante 5 segundos con tal de alcanzar el pico máximo de esfuerzo. Para el tibial anterior y el gastrocnemio lateral se realizó una flexión dorsal y una flexión plantar en una posición del tobillo a 90° de flexión, respectivamente. Para el peroneo lateral se realizó una eversión en una posición de 45° de

flexión del tobillo. Para el vasto medial del cuádriceps el paciente realizó una extensión de rodilla en una posición de flexión de rodilla de 90°. Para el bíceps femoral se realizó una flexión de rodilla en una posición de flexión de 45° de esta (Barbado Murillo et al., 2012). Finalmente, para el glúteo medio se realizó una abducción de cadera desde la posición neutra de la cadera. Los participantes fueron animados verbalmente durante la prueba. Para evitar la fatiga, se fue alternando entre las extremidades respetando un periodo de descanso para el mismo grupo muscular de 2 minutos.

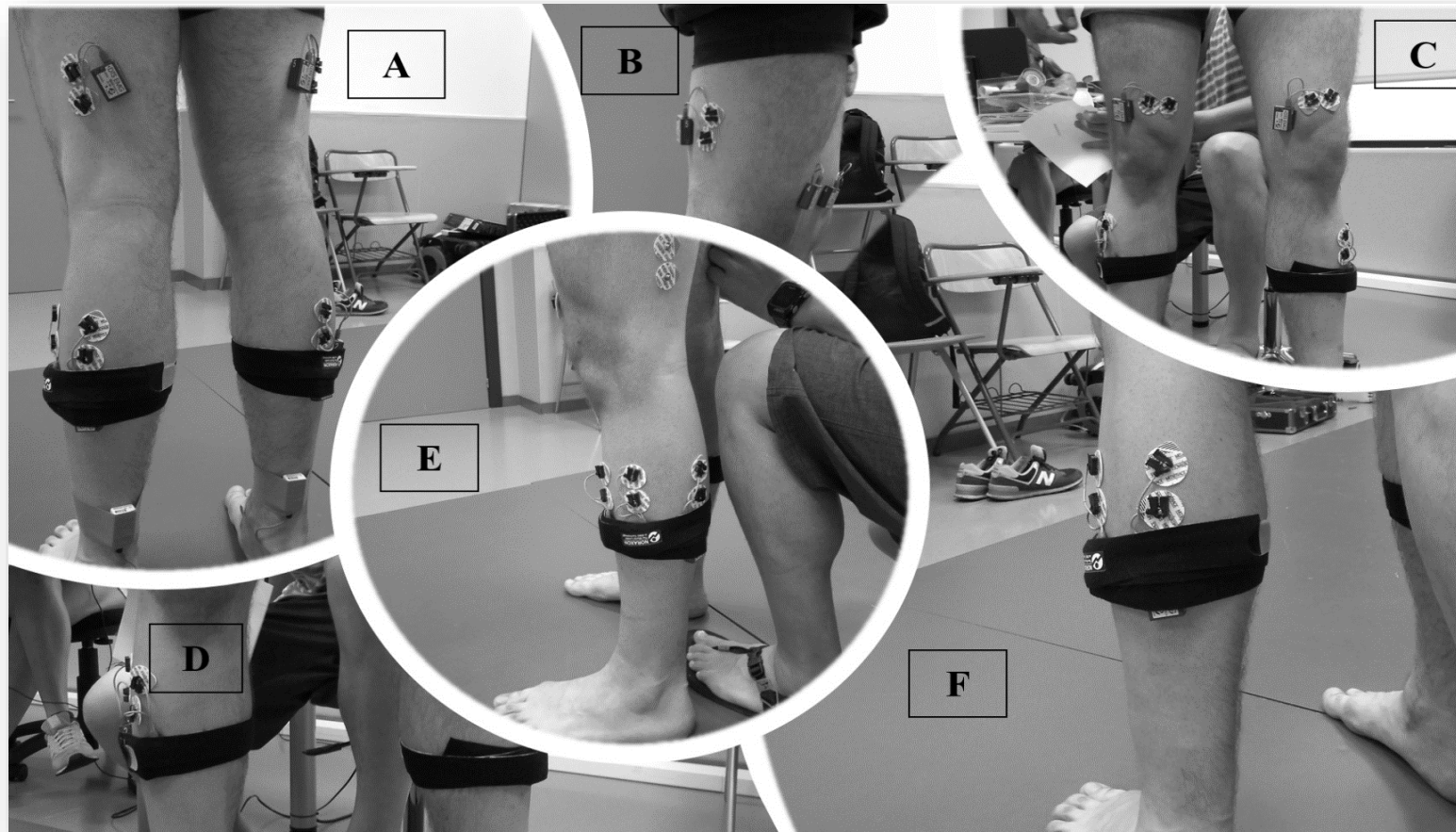


Figura 16. Colocación del EMG. A: sensor en el bíceps femoral y en el gastrocnemio lateral; **B:** vista lateral del sensor en el bíceps femoral; **C:** sensor en el vasto medial oblicuo del cuádriceps; **D:** sensor del tibial anterior; **E:** de izquierda a derecha (tibial anterior, peroneo lateral, gastrocnemio lateral); **F:** vista posterior del sensor de gastrocnemio lateral.

Tras la colocación del EMG y las posteriores pruebas para su normalización se realizaron varias pruebas para evaluar el equilibrio: El equilibrio estático se evaluó mediante una plataforma de presiones (P-Walk®, BTS Bioengineering, Milano, Italia) (Kawai et al., 2019) y el equilibrio dinámico mediante el Y-balance test (YBT) (Y-Balance Test Kit™, Move2Perform, Evansville, IN, USA) (Plisky et al., 2009) (Plisky et al., 2009).

**Los protocolos seguidos para la evaluación del equilibrio han sido descritos con detalle en capítulos anteriores (capítulo 3; apartado 3.2.2 procedimiento; páginas 64-66 y capítulo 4, apartado procedimiento 4.2.2; páginas 82-90).*

Para el equilibrio estático se solicitó al paciente que se subiera a la plataforma y se realizaron varias pruebas de equilibrio en postura unipodal y de tándem con los ojos abiertos y cerrados. La duración de registro de cada prueba fue de 30 s y cada una se repitió 2 veces (*ver capítulos anteriores para una descripción más detallada*). Para el equilibrio dinámico los participantes se colocaron descalzos sobre el Y-balance test y realizaron una acción de alcance en equilibrio unipodal en las tres direcciones: anterior (YBT_A), posteromedial (YBT_{PM}) y posterolateral (YBT_{PL}) (*ver capítulos anteriores para una descripción más detallada*).

5.2.3 Reducción de datos

Para el FDT_{ROM}, la fuerza de la cadera y para las variables del equilibrio estático y dinámico se siguió la metodología de los capítulos anteriores (*capítulo 3, apartado 3.2.2 procedimiento; páginas 64-66 y capítulo 4, apartado 4.2.3 reducción de datos; páginas 90-91*).

5.2.4 Análisis de la señal de EMG

La señal de EMG obtenida en todas las tareas fue filtrada con un filtro paso banda de 15-450 Hz (Butterworth, 4º orden). Posteriormente, la señal fue rectificada y suavizada mediante un filtro de media móvil de 20 ms. Seleccionamos una ventana de suavizado de 20 ms, ya que se utilizan ventanas de tiempo cortas para el análisis electromiográfico de movimientos rápidos o corta duración como los que suceden en tareas de equilibrio las cuales son controladas mediante ráfagas de impulsos nerviosos intermitentes para producir rápidos ajustes posturales (Barbado Murillo et al., 2012; Loram et al., 2005; Loram & Lakie, 2002; Morasso & Sanguineti, 2002;

Sinkjær & Arendt-Nielsen, 1991). Por último, la señal EMG fue normalizada según la máxima contracción isométrica voluntaria (MCIV o MCV por sus siglas en inglés) de cada músculo. Para las tareas de equilibrio estático, se calculó la amplitud media normalizada durante los 20 s centrales de la tarea, eliminando, por tanto, los primeros y últimos 5 s. En cuanto a las tareas de equilibrio dinámico valoradas mediante el YBT, dado que la ejecución mostrada por los participantes fue muy heterogénea, se calculó la máxima amplitud media obtenida en ventanas de análisis de 1 s de duración.

Con objeto de reducir la dimensionalidad del análisis del EMG y obtener una comprensión más completa de la actividad de EMG de toda la extremidad inferior durante las tareas de equilibrio, además de calcular las variables anteriormente mencionadas para cada músculo por separado, se calculó la actividad muscular conjunta de aquellos músculos pertenecientes a la articulación del tobillo (distal) y aquellos correspondientes a la articulación de la cadera (proximal). Para ello se promediaron los datos del tibial anterior, del peroneo largo y del gastrocnemio lateral en el caso de la musculatura distal y el bíceps femoral y el glúteo medio en el caso de la musculatura proximal. Además, se calculó la actividad total de la extremidad inferior como el promedio de los 6 músculos.

5.2.5 Análisis estadístico

Se comprobó la normalidad de la distribución de las variables mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Se calcularon los estadísticos descriptivos para todas las variables (media y desviación estándar). Para investigar las diferencias entre la extremidad operada y la no operada en la activación muscular de cada músculo se realizaron análisis de varianzas de medidas repetidas de dos vías (ANOVAs), siendo la categoría de pierna (2 niveles: operada o no operada) y la categoría músculo (6 niveles: tibial anterior, peroneo largo, gastrocnemio lateral, vasto medial oblicuo del cuádriceps, bíceps femoral o glúteo medio) los factores intra-sujetos. Asimismo se realizaron ANOVAs de medidas repetidas para valorar las diferencias en la activación de la musculatura distal y proximal, siendo la categoría de pierna (2 niveles: operada o no operada) y la categoría articulación (2 niveles: distal o proximal) los factores intra-sujetos. Además, se evaluó mediante ANOVAs de medidas repetidas las diferencias de activación de cada músculo en cada dirección del Y-balance test con la categoría pierna (2 niveles: operada o no operada) y la categoría dirección (3 niveles: anterior, posteromedial, posterolateral) como factores intra-sujetos. Por último, se comparó la activación total de cada extremidad inferior en cada una de

las pruebas o direcciones. Todos los análisis fueron realizados a los 6 y 12 meses después de la cirugía.

Además, se realizaron comparaciones por pares las cuales fueron realizadas con pruebas t y corregidas con el ajuste de Bonferroni. Además, se utilizó el índice g de Hedges (g) para datos emparejados y su intervalo de confianza al 95% como estimador del tamaño del efecto. Se consideró que una comparación era estadísticamente significativa cuando el intervalo de confianza del tamaño del efecto no cruzaba el valor cero. Además, la importancia práctica de los tamaños del efecto se interpretó como trivial ($g < 0.2$), pequeña ($0.2 \leq g < 0.5$), moderada ($0.5 \leq g < 0.8$) y grande ($g \geq 0.8$). Para la g de Hedges, las puntuaciones positivas o negativas indican una mayor o menor activación muscular de la extremidad operada en comparación con la extremidad no operada.

Además, se realizó un análisis de correlación de Pearson para evaluar la relación entre los parámetros neuromusculares de activación muscular, los resultados de las pruebas del equilibrio estático y dinámico y las capacidades físicas que mostraron déficits. Se utilizó el paquete estadístico SPSS (versión 20.0, SPSS Inc., Chicago, IL, EE.UU) para el análisis de la varianza (ANOVA), así como las correlaciones con un nivel de significación de $p < .05$.

5.3 Resultados

15 participantes (7 mujeres y 8 hombres) que fueron operados después de una fractura bimalleolar de tobillo fueron evaluados a los 6 meses (las características sociodemográficas y datos clínicos se muestran en la tabla 11) y 21 participantes fueron evaluados a los 12 meses después de la cirugía (*ver los capítulos anteriores para observar una descripción más detallada de la muestra; capítulo 3, apartado 3.3 resultados; página 61-63*). Únicamente 15 sujetos pudieron ser evaluados a los 6 meses debido a que presentaron dificultades para realizar las MVCs. Concretamente en las evaluaciones de los músculos del tobillo, estos sujetos presentaban dolor, dificultad o miedo a realizar contracciones máximas.

Tabla 11. Características basales de las personas con fractura bimalleolar de tobillo a los 6 meses de la cirugía

	Extremidad operada (N=15)	Extremidad no operada (N=15)	p-valor
	Media ± SD	Media ± SD	
Edad		45.6 ± 9.4	
Sexo (% de mujeres)		50 %	
Altura (cm)		166.9 ± 8.7	
Peso (kg)		76.1 ± 9.5	
FDT_{ROM} (°)	24.4 ± 8.7	29.0 ± 8.3	<0.001
ABD (%)	28.2 ± 5.2	32.4 ± 8.2	0.025

SD: desviación estándar; %: porcentaje; kg: kilogramos; °: grados; FDT_{ROM}: rango de movimiento de flexión dorsal de tobillo; ABD: Fuerza de los abductores de la cadera normalizada con respecto a la masa corporal (%)

Actividad muscular durante las pruebas de equilibrio estático (plataforma de presiones)

A los 6 meses después de la cirugía, durante las tres pruebas de equilibrio estático solo fue detectada en la extremidad operada una mayor activación media del vasto medial del cuádriceps (+1.3 % < diferencia de medias > +4.3 %), $0.7 \leq g \leq 1.4$), un menor coeficiente de variación del tibial anterior (-15 %, $g=-0.66$) y un mayor coeficiente de variación del glúteo medio (+6.4 %, $g=0.44$). Estos dos últimos solo en la prueba de apoyo unipodal con los ojos abiertos (tabla 12). A los 12 meses, la extremidad operada en la prueba de apoyo unipodal con los ojos cerrados tuvo una mayor media de activación y un menor coeficiente de variación del peroneo largo (+8.3 %, $g= 0.91$ y -10.9 %, $g=-0.59$, respectivamente) y en la prueba de tándem una menor media de activación en el gastrocnemio lateral (-2.6 %, $g=-0.62$) (tabla 13). La comparación de la actividad neuromuscular entre los músculos de cada extremidad inferior en cada una de las pruebas de estabilometría a los 6 y a los 12 meses después de la cirugía también se muestra en las tablas 12 y 13.

Tabla 12. Actividad muscular de los 6 músculos en la extremidad operada y la no operada durante la estabilometría a los 6 meses después de la cirugía

Test unipodal con ojos abiertos (N=15)				
	Media		Coefficiente de variación	
	Extremidad operada	Extremidad no operada	Extremidad operada	Extremidad no operada
	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD
Tibial anterior (1)	10.8 ± 4.0	9.5 ± 4.9	71.4 ± 14.4 ^{3,4,5,6,*}	86.4 ± 24.5 ^{3,4,5,6}
Peroneo largo (2)	23.7 ± 15.0 ^{1,3,4,5,6}	18.9 ± 7.9 ^{1,3,4,5,6}	76.3 ± 14.2 ^{3,4,5,6}	79.4 ± 18.3 ^{3,4,5,6}
Gastrocnemio lateral (3)	10.1 ± 4.6 ^{4,5}	10.0 ± 3.9 ^{2,4,5}	49.6 ± 8.2	44.8 ± 6.2
VM del cuádriceps (4)	4.3 ± 2.3 ^{1,3,6,*}	1.6 ± 1.3 ^{1,2,3,5,6}	46.7 ± 20.1	41.3 ± 20.4
Bíceps femoral (5)	5.1 ± 3.8 ^{1,2,3,6}	3.9 ± 3.5 ^{1,2,3,4,6}	52.3 ± 16.0	51.2 ± 25.9
Glúteo medio (6)	11.1 ± 8.0	12.1 ± 6.2	43.8 ± 11.0*	37.4 ± 14.6
Tarea unipodal ojos cerrados (12)				
	Media		Coefficiente de variación	
	Extremidad operada	Extremidad no operada	Extremidad operada	Extremidad no operada
	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD
Tibial anterior (1)	17.0 ± 5.0 ^{2,4,5}	17.0 ± 5.4 ^{2,3,4,5}	65.1 ± 13.8 ^{3,4}	69.3 ± 12.3 ^{3,4}
Peroneo largo (2)	33.0 ± 19.4 ^{1,3,4,5,6}	27.6 ± 10.4 ^{3,4,5,6}	70.9 ± 14.8 ^{3,4,5,6}	70.9 ± 16.4 ^{3,4,5,6}
Gastrocnemio lateral (3)	13.1 ± 5.9 ^{4,5}	12.0 ± 3.9 ^{4,5}	54.7 ± 4.0	51.7 ± 11.8
VM del cuádriceps (4)	7.7 ± 3.5 ^{6,*}	3.4 ± 2.2 ^{5,6}	47.7 ± 12.2	52.7 ± 24.2
Bíceps femoral (5)	8.2 ± 4.6 ⁶	6.8 ± 5.7 ⁶	57.3 ± 20.6	59.4 ± 21.0
Glúteo medio (6)	14.9 ± 10.8	14.8 ± 6.9	58.0 ± 17.9	55.0 ± 18.4
Test en posición de tándem (15)				
	Media		Coefficiente de variación	
	Extremidad operada	Extremidad no operada	Extremidad operada	Extremidad no operada
	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD
Tibial anterior (1)	6.6 ± 5.2 ^{2,4,5}	7.8 ± 6.2 ^{2,4,5}	94.4 ± 37.0 ^{3,5,6}	90.4 ± 35.0 ^{3,4,5,6}
Peroneo largo (2)	11.8 ± 7.9 ^{3,4,5}	10.9 ± 6.9 ^{3,4,5}	80.7 ± 31.6 ^{3,5,6}	85.4 ± 26.4 ^{3,4,5,6}
Gastrocnemio lateral (3)	6.5 ± 4.2 ^{4,5}	6.6 ± 4.5 ^{4,5}	59.6 ± 20.2	55.9 ± 24.5
VM del cuádriceps (4)	3.3 ± 1.9 ^{6,*}	2.0 ± 1.5 ⁶	79.4 ± 59.7	53.8 ± 36.4
Bíceps femoral (5)	2.9 ± 3.3 ⁶	2.5 ± 2.9 ⁶	46.4 ± 23.4	49.6 ± 38.9
Glúteo medio (6)	7.6 ± 4.3	7.9 ± 3.7	47.8 ± 42.3	45.0 ± 29.2

SD: desviación estándar; VM: vasto medial; se marcan mediante números las diferencias entre los músculos en cada prueba de estabilometría; * diferencias entre extremidad operada vs no operada en cada prueba de estabilometría; F: factor ANOVA; p < 0.05

Tabla 12 (continuación). Actividad muscular de los 6 músculos en la extremidad operada y la no operada durante la estabilometría a los 6 meses después de la cirugía

		Extremidad operada	Extremidad no operada		
		Media SD	Media SD		Effect size
Unipodal OA	Total/prueba	10.9 ± 3.6	9.3 ± 3.4		0.38 (-0.27; 1.02)
Unipodal OC	Total/prueba	15.7 ± 4.4	13.6 ± 3.7		0.46 (-0.30; 1.27)
Tándem	Total/prueba	5.8 ± 2.0	6.2 ± 3.4	12.000 (0.302)	0.08 (-0.45; 0.63)
	<i>Prueba F(p)</i>	11.000 (p< 0.001)			
		OC>OA>T	OC>OA>T		

SD: desviación estándar; VM: vasto medial; se marcan mediante números las diferencias entre los músculos en cada prueba de estabilometría; * diferencias entre extremidad operada vs no operada en cada prueba de estabilometría; F: factor ANOVA; p< 0.05

Tabla 13. Actividad muscular de los 12 músculos en la extremidad operada y en la no operada durante las pruebas de estabilometría a los 12 meses después de la cirugía

	Test unipodal con ojos abiertos (21)			
	Media		Coefficiente de variación	
	Extremidad operada Media ± SD	Extremidad no operada Media ± SD	Extremidad operada Media ± SD	Extremidad no operada Media ± SD
Tibial anterior (1)	8.9 ± 5.7 ^{2,4,5}	7.2 ± 5.0 ²	52.8 ± 37.0	51.9 ± 32.6 ^{4,5}
Peroneo largo (2)	16.9 ± 15.0 ^{3,4,5}	13.6 ± 8.9 ^{3,4,5}	50.4 ± 28.9	48.8 ± 32.6 ⁴
Gastrocnemio lateral (3)	7.1 ± 6.2 ⁴	9.4 ± 8.6	54.2 ± 52.8	43.3 ± 37.2
VM del cuádriceps (4)	3.7 ± 3.3 ⁶	6.5 ± 19.9 ⁶	61.2 ± 87.6	32.7 ± 19.7
Bíceps femoral (5)	5.6 ± 4.1 ⁶	6.9 ± 4.5	38.9 ± 17.3	33.5 ± 14.2
Glúteo medio (6)	11.7 ± 11.1	13.7 ± 18.9	38.7 ± 17.1	37.9 ± 17.0
	Test unipodal con ojos cerrados (19)			
	Media		Coefficiente de variación	
	Extremidad operada Media ± SD	Extremidad no operada Media ± SD	Extremidad operada Media ± SD	Extremidad no operada Media ± SD
Tibial anterior (1)	18.3 ± 5.4 ^{2,4,5}	17.7 ± 5.8 ^{2,4,5}	68.5 ± 18.5 ^{3,6}	69.6 ± 13.6 ^{2,3,6}
Peroneo largo (2)	32.6 ± 9.8 ^{3,4,5,6,*}	24.3 ± 6.9 ^{3,4,5,6}	66.1 ± 16.4 ^{3,6,*}	77.0 ± 18.3 ^{3,5,6}
Gastrocnemio lateral (3)	17.2 ± 9.8 ^{4,5}	14.8 ± 9.9 ^{4,5}	51.5 ± 16.0	51.9 ± 15.0
VM del cuádriceps (4)	6.6 ± 5.3 ^{5,6}	5.6 ± 3.7 ⁶	76.0 ± 84.3	63.4 ± 64.1
Bíceps femoral (5)	8.5 ± 4.8 ⁶	7.8 ± 7.0 ⁶	60.4 ± 25.1	59.1 ± 25.9 ⁶
Glúteo medio (6)	20.9 ± 15.0	14.9 ± 11.9	49.5 ± 25.6	47.0 ± 18.8
	Test en posición de tándem (21)			
	Media		Coefficiente de variación	
	Extremidad operada Media ± SD	Extremidad no operada Media ± SD	Extremidad operada Media ± SD	Extremidad no operada Media ± SD
Tibial anterior (1)	6.4 ± 3.3 ^{2,5}	4.9 ± 3.4 ^{2,3,6}	77.7 ± 35.2 ^{3,5,6}	80.0 ± 31.7 ^{3,4,5,6}
Peroneo largo (2)	13.8 ± 8.1 ^{3,4,5,6}	11.0 ± 6.1 ^{4,5}	71.6 ± 34.6 ^{3,5,6}	81.3 ± 27.5 ^{3,4,5,6}
Gastrocnemio lateral (3)	5.9 ± 3.3 ^{5,*}	8.5 ± 4.5 ⁵	43.5 ± 23.9	46.0 ± 24.7 ⁶
VM del cuádriceps (4)	4.6 ± 11.8	4.7 ± 9.8 ⁶	56.3 ± 51.2	38.9 ± 26.9
Bíceps femoral (5)	2.8 ± 1.8 ⁶	4.0 ± 5.0	32.0 ± 21.2	42.0 ± 33.5
Glúteo medio (6)	9.1 ± 6.2	7.2 ± 5.1	41.7 ± 52.5	33.9 ± 15.6

SD: desviación estándar; VM: vasto medial; se marcan mediante números las diferencias entre los músculos en cada prueba de estabilometría; * diferencias entre extremidad operada vs no operada en cada prueba de estabilometría; F: factor ANOVA; p< 0.05

Tabla 13 (continuación). Actividad muscular de los 12 músculos en la extremidad operada y en la no operada durante las pruebas de estabilometría a los 12 meses después de la cirugía

		Extremidad operada	Extremidad no operada	<i>Pierna</i>	<i>Effect size</i>
		Media SD	Media SD		
Unipodal OA	Total/prueba	7.9 ± 4.9	9.4 ± 11.7		-0.12 (-0.68; 0.42)
Unipodal OC	Total/prueba	14.7 ± 4.7	12.2 ± 4.7	16.000 (0.664)	0.56 (0.22; 0.94)
Tándem	Total/prueba	6.5 ± 4.6	6.2 ± 4.4		0.04 (-0.5; 0.67)
<i>Prueba F(p)</i>		15.000 (p<0.001)			
		UOC > UOA	UOC > T		
		UOC > T			

SD: desviación estándar; se marcan mediante números las diferencias entre los músculos en cada prueba de estabilometría; * diferencias entre extremidad operada vs no operada en cada prueba de estabilometría; F: factor ANOVA; p< 0.05

En el análisis de la activación muscular agrupada se observó que, a los 6 meses después de la cirugía, la activación de la musculatura distal (i.e., tobillo) fue mayor en ambas extremidades inferiores en todas las tareas (e.j; extremidad operada: (+3 % < diferencia de medias > +9.4 %) (ANEXO IX). A los 12 meses, únicamente se detectó una mayor activación media de la musculatura distal en la extremidad operada respecto a la no operada en la prueba de equilibrio en apoyo unipodal con los ojos cerrados (+3.8 %, $g=0.62$) (ANEXO IX). Además, en esta tarea se registró la mayor activación global de toda la musculatura de la extremidad inferior (tabla 12 y 13). Las figuras 17 y 18 representan la activación muscular (distal vs proximal) en ambas extremidades durante las pruebas de equilibrio estático a los 6 y a los 12 meses

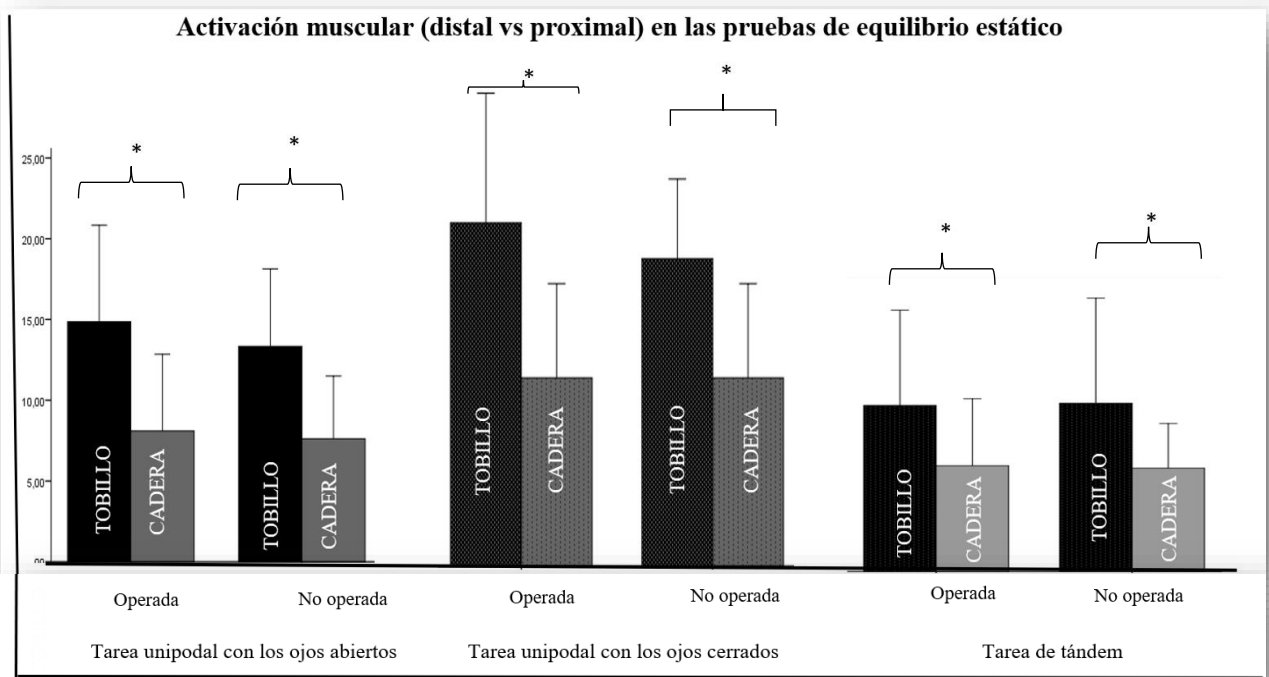


Figura 17. Activación muscular (distal vs proximal) durante las pruebas de equilibrio estático a los 6 meses tras la cirugía

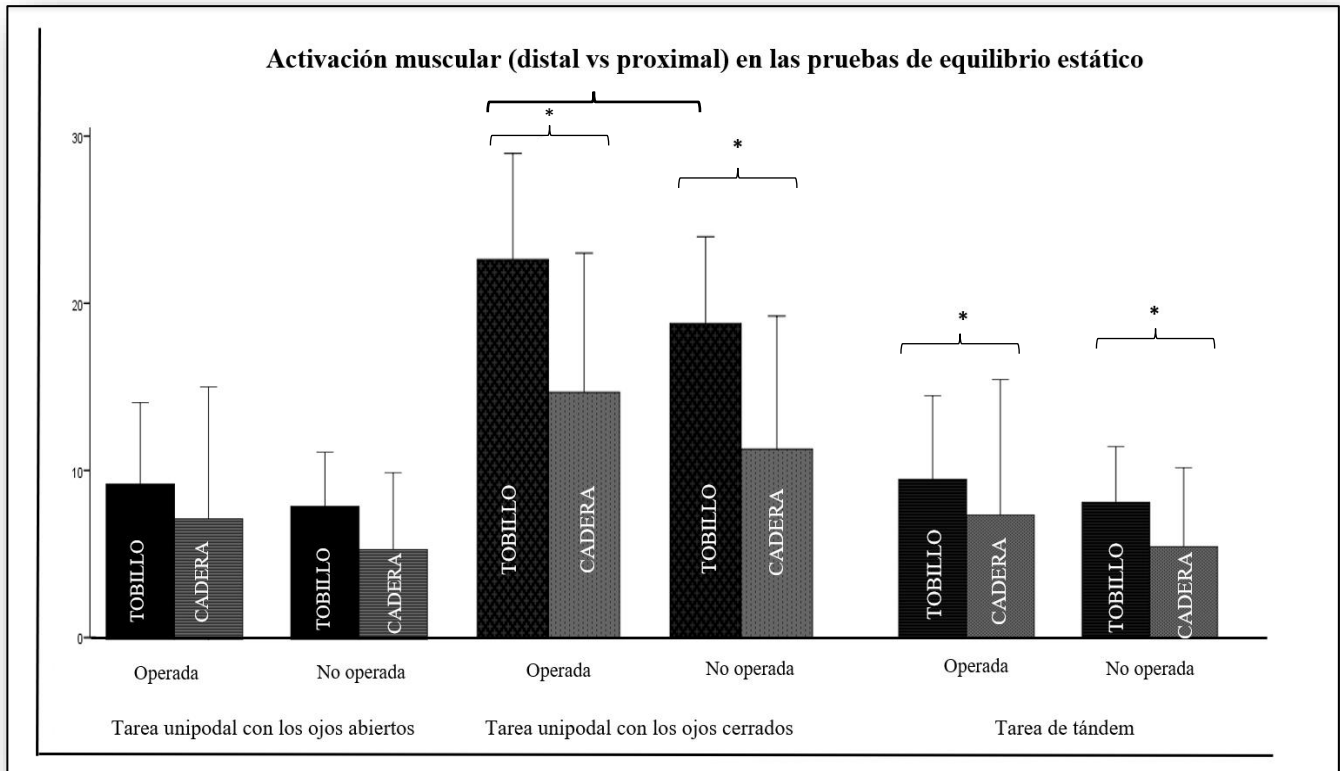


Figura 18. Activación muscular (distal vs proximal) durante las pruebas de equilibrio estático a los 12 mes tras la cirugía; * diferencias entre la activación de la musculatura distal vs proximal; } mayor activación de la musculatura distal durante la tarea de apoyo unipodal con los ojos cerrados en la extremidad operada vs la no operada (+3.8 %, $g=0.62$)

Actividad muscular durante el YBT

A los 6 meses después de la cirugía, se observó una menor activación media del tibial anterior durante el YBT_A (-8.5 %, $g=-0.72$) y una mayor activación del glúteo medio durante el YBT_{PM} (+7.1 %, $g=0.68$) de la extremidad operada respecto a la extremidad no operada (tabla 14); sin embargo, a los 12 meses no se detectaron diferencias entre extremidades (tabla 15).

Comparando entre tareas, se observó que a los 6 meses el tibial anterior en la extremidad operada presentaba una menor activación media durante el YBT_A comparado con resto de direcciones (-8.2 % YBT_A vs YBT_{PM}, $g=-0.61$; -9.7 % YBT_A vs YBT_{PL}, $g=-1.0$) (tabla 14). Asimismo, se encontró una mayor activación media en el gastrocnemio lateral en ambas extremidades durante el YBT_A respecto al resto de direcciones del YBT tanto a los 6 como a los 12 meses después de la cirugía (e.j; operada: +7.5% YBT_A vs YBT_{PM}, $g=0.61$; +9.1% YBT_A vs YBT_{PL}, $g=1.0$) (tabla 15).

La comparación de la actividad neuromuscular entre los músculos de cada extremidad en cada una dirección del YBT también se muestra en las tablas 14 y 15.

Tabla 14. Actividad muscular de los 6 músculos en la extremidad operada y no operada durante el Y-balance test a los 6 meses después de la cirugía

Músculo	YBT _A		YBT _{PM}		YBT _{PL}	
	Extremidad operada Media ± SD	Extremidad no operada Media ± SD	Extremidad operada Media ± SD	Extremidad no operada Media ± SD	Extremidad operada Media ± SD	Extremidad no operada Media ± SD
Tibial anterior (1)	23.9 ± 11.9 *	32.4 ± 10.1	31.3 ± 14.4 ^A	41.6 ± 13.1 ^A	30.9 ± 10.0 ^A	39.7 ± 14.3
Peroneo largo (2)	32.8 ± 15.8	41.3 ± 12.3	34.0 ± 15.4	39.4 ± 12.4	38.1 ± 17.7	43.6 ± 12.4
Gastrocnemio lateral (3)	28.0 ± 12.5	28.7 ± 15.4	19.5 ± 10.0 ^A	16.5 ± 10.4 ^{1,2,4,6,A}	16.3 ± 8.7 ^{1,2,A}	17.2 ± 16.2 ^{1,2,A}
Vasto medial del cuádriceps (4)	35.6 ± 19.5	37.5 ± 14.9	39.6 ± 17.1 ^{1,5}	36.3 ± 16.7	28.3 ± 18.6	35.8 ± 22.4
Bíceps femoral (5)	21.4 ± 9.6	15.3 ± 12.1 ^{1,2,4}	17.6 ± 7.5 ^{1,4}	16.9 ± 15.2 ^{1,2,4,6}	20.3 ± 13.7 ¹	22.8 ± 20.3
Glúteo medio (6)	33.3 ± 17.4	26.3 ± 11.7 ^{2,4,5}	41.6 ± 15.9 ^{*1,3,5}	29.9 ± 16.6 ^{1,2}	27.4 ± 16.3	31.0 ± 19.1
YBT- Dirección	Extremidad operada Media ± SD	Extremidad no operada Media ± SD	<i>Pierna</i> <i>F(p)</i>		<i>Effect size</i>	
Anterior	Total /dirección	27.2 ± 6.7	29.7 ± 5.9			-0.32 (-1.14; 0.36)
Posteromedial	Total /dirección	23.0 ± 6.5*	29.5 ± 6.9*	6.037 (0.032)		-0.90 (-1.70; -0.21)
Posteromedial	Total /dirección	26.9 ± 7.6	29.9 ± 10.4			-0.29 (-0.77; 0.13)
Activación total	Total/pierna	25.7 ± 1.9*	29.7 ± 1.9*			-1.96 (-3.14; -1.04)

YBT_A: Y- Balance test dirección anterior; YBT_{PM}: Y- Balance test dirección posteromedial; YBT_{PL}: Y- Balance test dirección posterolateral; SD: desviación estándar; se marcan mediante números las diferencias entre los músculos en cada dirección del Y-balance test; se marcan mediante letras las diferencias de cada grupo muscular entre las direcciones del Y-balance test; * diferencias entre pierna afecta vs no operada en cada dirección del Y-balance test; F: factor ANOVA; p< 0.05

Tabla 15. Actividad muscular de los 6 músculos en la extremidad operada y la no operada durante el Y-balance test a los 12 meses después de la cirugía.

Músculo	YBT _A		YBT _{PM}		YBT _{PL}	
	Operada Media ± SD	No operada Media ± SD	Operada Media ± SD	No operada Media ± SD	Operada Media ± SD	No operada Media ± SD
Tibial anterior (1)	28.9 ± 10.8	33.8 ± 14.6	34.6 ± 11.8 ^A	40.8 ± 15.7	31.0 ± 21.8	35.3 ± 19.6
Peroneo largo (2)	38.0 ± 12.5	36.1 ± 13.8	43.2 ± 19.0 ^{3,5}	38.0 ± 11.1 ^{3,5}	37.4 ± 25.0 ^{3,5}	32.3 ± 15.9 ^{3,5}
Gastrocnemio lateral (3)	27.4 ± 15.8 ^{2,4}	28.1 ± 17.1	18.3 ± 9.9 ^{1,2,4,6,A}	20.0 ± 13.0 ^{1,2,4,6, A}	14.0 ± 9.0 ^{1,2,4,6,A}	15.5 ± 9.0 ^{1,2,4,6, A}
Vasto medial del cuádriceps (4)	37.1 ± 19.4	44.4 ± 14.7	41.0 ± 18.7 ^{3,5}	42.7 ± 14.4 ^{3,5,6}	31.8 ± 23.0 ^{3,5}	38.5 ± 18.0 ^{3,5}
Bíceps femoral (5)	21.0 ± 13.2 ^{1,2,4,6}	15.2 ± 9.6 ^{1,2,4,6}	16.6 ± 8.1 ^{1,2,4,6}	16.8 ± 11.0 ^{1,2,4,6}	15.5 ± 13.1 ^{1,2,4,6}	15.5 ± 12.2 ^{1,2,4,6}
Glúteo medio (6)	29.5 ± 17.1	27.9 ± 17.7 ⁴	33.3 ± 18.3 ^{3,5}	31.9 ± 11.9 ^{1,3,4,5}	27.3 ± 21.0 ^{3,5}	32.5 ± 16.3 ^{3,5}
YBT- Dirección		Operada Media ± SD	No operada Media ± SD	Pierna F(p)	Effect size	
Anterior	Total /dirección	29.3 ± 6.4	30.8 ± 7.4	17.000 (0.412)	-0.09 (-0.63; 0.44)	
Posteromedial	Total /dirección	30.3 ± 7.2	30.9 ± 5.9		-0.05 (-0.52; 0.42)	
Posteromedial	Total /dirección	25.3 ± 14.2	27.6 ± 9.5		-0.11 (-0.60; 0.37)	
Activación total	Total/pierna	28.3 ± 6.4	29.7 ± 5.5		-0.22 (-0.77; 0.31)	

YBT_A: Y- Balance test dirección anterior; YBT_{PM}: Y- Balance test dirección posteromedial; YBT_{PL}: Y- Balance test dirección posterolateral; SD: desviación estándar; se marcan mediante números las diferencias entre los músculos en cada dirección del Y-balance test; se marcan mediante letras las diferencias de cada grupo muscular entre las direcciones del Y-balance test; * diferencias entre extremidad operada vs no operada en cada dirección del Y-balance test; F: factor ANOVA; p < 0.05

El análisis de la activación de la musculatura agrupada el ANOVA mostró a los 6 meses un efecto interacción significativo (i.e., interacción pierna - musculatura proximal distal) en el YBT_A ($F=30.806$ (<0.001)), y en el YBT_{PM} se observó la misma tendencia siendo el efecto interacción casi significativo ($F=4.121$ (0.065)), revelando que el patrón neuromuscular era diferente en la extremidad operada y la no operada. (ANEXO X).

Las comparaciones por pares mostraron a los 6 meses en la extremidad operada respecto a la no operada una mayor activación de la musculatura proximal durante el YBT_A (+6.6%; $g=0.62$) (ANEXO X y figura 19). Respecto a la comparación entre la musculatura (distal vs proximal) en cada una de las extremidades, a los 6 meses se detectó en la extremidad no operada una mayor activación de la musculatura distal durante el YBT_A (+13.3%, $g=1.42$) y el YBT_{PM} (+8.7%, $g=0.71$), mientras que en la extremidad operada la activación fue similar entre la musculatura distal y proximal. A los 12 meses, el efecto interacción (i.e., interacción pierna - musculatura proximal distal) en el YBT_A fue casi significativo ($F=3.245$ (0.088)). En la comparación por pares se observó que la activación distal respecto a la proximal fue mayor en ambas extremidades inferiores tanto en el YBT_A (extremidad operada: +6.2%, $g=0.62$; no operada: +10.8%, $g=1.03$) como en el YBT_{PM} (extremidad operada: +7.0%, $g=0.67$; no operada: +7.4%, $g=0.90$) (ANEXO X y figura 20).

Activación muscular (distal vs proximal) en el Y-Balance test

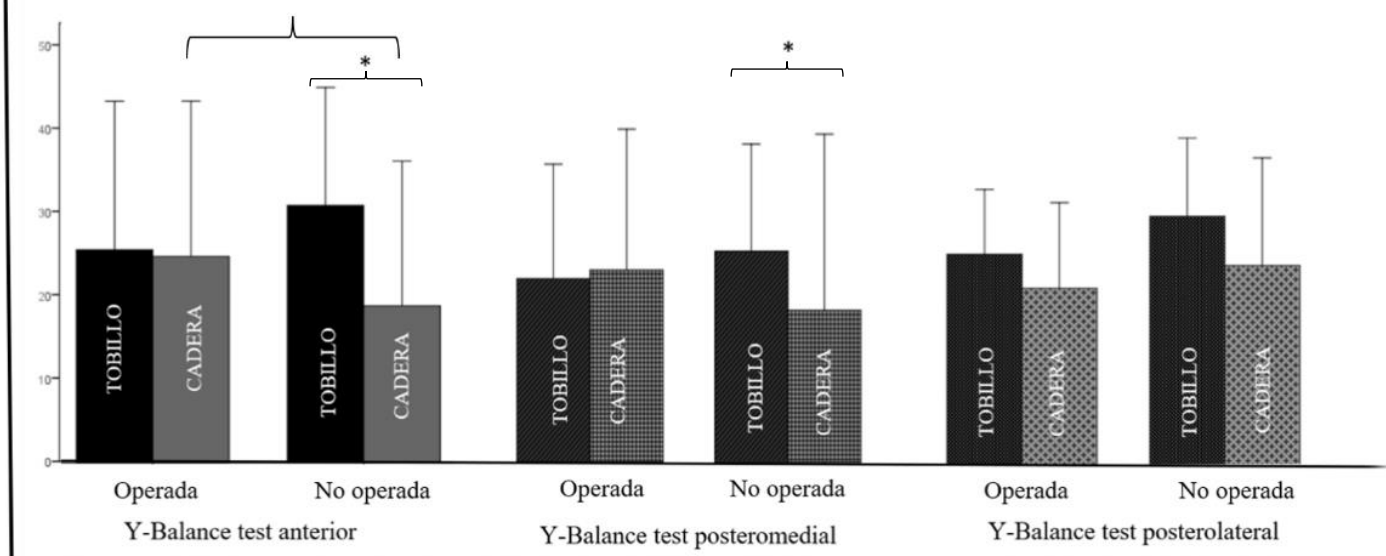


Figura 19. Activación muscular durante el Y-Balance test (distal vs proximal) a los 6 meses tras la cirugía. Y-Balance test en la dirección anterior: ANOVA factor interacción ($F=30.806$ ($p < 0.001$)); Y-Balance test en la dirección posteromedial: ANOVA factor interacción ($F=4.121$ ($p=0.065$)); * diferencias entre la activación de la musculatura distal vs proximal; } mayor activación de la musculatura proximal durante el YBT_A en la extremidad operada (+6.6%; $dg=0.62$)

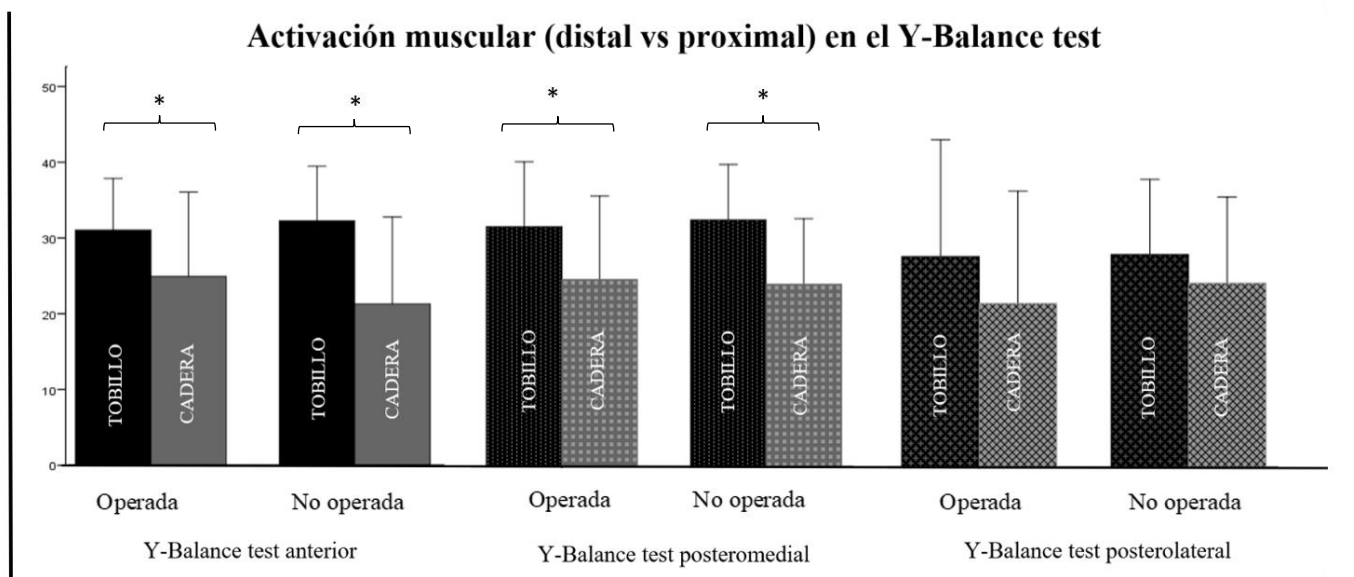


Figura 20. Activación muscular durante el Y-Balance test (distal vs proximal) a los 6 meses tras la cirugía. No existe factor interacción en ninguna de las direcciones del test

Relación entre el rendimiento del equilibrio, la flexión dorsal y la activación de la musculatura distal y proximal

**Los déficits de equilibrio como los déficits de flexión dorsal de tobillo y de fuerza de los ABD detectados en esta población se pueden observar en los capítulos anteriores. (capítulo 3 y 4). Como a los 6 meses después de la cirugía solo se evaluó a un subgrupo de personas con fractura bimaléolar de tobillo, las tablas del material suplementario muestran los resultados específicos en el equilibrio estático, dinámico, FDT_{ROM} y fuerza de ABD a los 6 meses después de la cirugía en los 15 participantes (ANEXO XI).*

Como se puede observar no hubo déficits en la extremidad operada en las tareas de equilibrio estáticas a los 6 meses después de la cirugía. En el equilibrio dinámico se observaron déficits en la distancia alcanzada en el YBT_A (-7.7%, $g=-0.64$) y en el YBT_{PM} (-5.3%, $g=-0.45$), así como en el FDT_{ROM} (-13°, $g=-1.46$) y ABD (-4.2%, $g=-0.53$).

Solo se muestra el análisis correlacional con el YBT ya que en el equilibrio estático no fueron detectadas diferencias entre extremidades. El análisis correlacional no mostró una clara tendencia en las relaciones entre los patrones de activación muscular y el rendimiento en el YBT (tabla 16).

Con relación a el FDT_{ROM} y los patrones neuromusculares durante el YBT, se detectó que un menor FDT_{ROM} se relacionó con una mayor activación de la musculatura distal durante el YBT_A y el YBT_{PM} a los 6 meses ($-0.603 \leq r \leq -0.616$) y a los 12 meses ($-0.553 \leq r \leq -0.699$), concretamente a los 6 meses con una mayor activación del gastrocnemio lateral ($-0.734 \leq r \leq -0.782$, $p > 0.001$) y un menor FDT_{ROM} también se relacionó con una mayor activación de la musculatura proximal en el YBT_{PM} a los 6 meses, concretamente con el glúteo medio ($r = -0.614$, $p < 0.05$) (tabla 16). En la extremidad no operada no fueron detectadas correlaciones significativas ni con el rendimiento del YBT, ni con el FDT_{ROM} , ni con la fuerza de ABD de cadera (tabla 17).

**Tampoco se observó ninguna relación en las pruebas de estabilometría (ANEXO XII). Comentar que a los 12 meses en la prueba de equilibrio en apoyo unipodal con los ojos cerrado se detectó una mayor activación distal, en especial del peroneo largo, el cual parecía inversamente asociado con el FDT_{ROM} , si bien esta correlación no fue significativa ($-0.387 < r < -0.409$, $p > 0.05$).*

Tabla 16. Correlaciones entre el YBT y la actividad muscular de la articulación del tobillo y de la cadera de la extremidad operada a los 6 meses y a los 12 meses después de la cirugía

		TOBILLO		CADERA	
		6 meses	12 meses	6 meses	12 meses
YBT _A	6 meses	-0.185		-0.185	
	12 meses		-0.281		-0.421
FDT _{ROM} (°)	YBT _A	-0.603^{*,GL}	-0.553[*]	-0.392	-0.308
ABD (%)		-0.340	-0.427	-0.153	-0.355
YBT _{PM}	6 meses	-0.244		-0.212	
	12 meses		-0.169		-0.461
FDT _{ROM} (°)	YBT _{PM}	-0.616^{*,GL}	-0.699[*]	-0.586^{*,GM}	-0.371
ABD (%)		-0.330	-0.344	-0.330	-0.553
YBT _{PL}	6 meses	0.046		-0.105	
	12 meses		0.273		-0.130
FDT _{ROM} (°)	YBT _{PL}	-0.547	-0.050	-0.533	-0.164
ABD (%)		0.072	0.235	0.306	-0.093

YBT: Y-balance test; FDT_{ROM} : rango de movimiento de flexión dorsal de tobillo; ABD: fuerza de los abductores de la cadera; GL: Correlación entre la flexión dorsal y la activación media del gastrocnemio lateral en el YBT_A y en el YBT_{PM} ($-0.734 \leq r \leq -0.782$, $p < 0.001$); GM: Correlación entre la flexión dorsal y la activación media del glúteo medio en el YBT_{PM} (-0.614 , $p < 0.05$)

Tabla 17. Correlaciones entre el YBT y la actividad muscular de la articulación del tobillo y de la cadera de la extremidad no operada a los 6 meses y a los 12 meses después de la cirugía

		TOBILLO		CADERA	
		6 meses	12 meses	6 meses	12 meses
YBT _A	6 meses	-.082		.058	
	12 meses		-.218		.013
FDT _{ROM} (°)	YBT _A	-.371	-.253	-.279	-.136
ABD (%)		-.234	-.172	-.143	.023
YBT _{PM}	6 meses	-.259		.388	
	12 meses		-.207		.031
FDT _{ROM} (°)	YBT _{PM}	-.424	-.361	-.167	.054
ABD (%)		-.071	-.314	-.087	.206
YBT _{PL}	6 meses	-.421		.269	
	12 meses		.103		.175
FDT _{ROM} (°)	YBT _{PL}	-.235	-.164	-.125	-.179
ABD (%)		-.279	-.008	-.072	.046

YBT: Y-balance test; FDT_{ROM}: rango de movimiento de flexión dorsal de tobillo; ABD: fuerza de los abductores de la cadera

5.4 Discusión

A pesar de que estudios anteriores han identificado que personas con lesiones de tobillo presentan patrones de control motor alterados durante diversas tareas funcionales (Delahunt et al., 2007; Van Deun et al., 2007; Webster & Gribble, 2013), hasta donde saben los autores, este es el primer trabajo que analiza el comportamiento neuromuscular en personas que han sufrido una fractura bimalleolar de tobillo durante las tareas de equilibrio. Por tanto, su principal objetivo fue describir el patrón de activación muscular durante diversas tareas de equilibrio en esta población 6 y 12 meses después de la cirugía, así como comprender cuales características neuromusculares y estrategias de control motor están asociadas a los déficits de equilibrio de la extremidad operada en esta población.

En general, nuestros resultados muestran que las personas con fractura bimalleolar de tobillo presentan cambios neuromusculares en su extremidad operada después de 6 meses de la cirugía del tobillo, pero a los 12 meses parece normalizarse el comportamiento neuromuscular entre extremidades. Asimismo, las tareas dinámicas como el YBT fueron más sensibles para detectar estos cambios, específicamente el YBT_A. Esto coincide con

lo reportado en la literatura la cual sugiere que las tareas dinámicas son más fiables y validas que las estáticas para evaluar el control motor (Bertrand-Charette et al., 2020).

5.4.1 Control neuromuscular en el equilibrio estático

En general tal y como comentamos anteriormente, no parece que haya un patrón claramente alterado en la extremidad operada en las pruebas de equilibrio estático. Cabe mencionar que las diferencias de activación muscular en determinados músculos aislados como el tibial anterior, en el vasto medial o en el peroneo largo se inclinan hacia una mayor activación en la extremidad operada. Curiosamente, en la tarea de equilibrio en apoyo unipodal con los ojos cerrados, la actividad de la musculatura distal y del peroneo largo aisladamente, así como la activación total (6 músculos) fue mayor en la extremidad operada a los 12 meses de la operación. Esto contrasta con lo encontrado en sujetos con CAI en comparación con sujetos sanos en los que en esta tarea detectan una menor activación del tibial anterior y del bíceps femoral así como de la activación total de la extremidad inferior (Feger et al., 2014).

Sobre estas diferencias cabe destacar que la comparación entre estudios es complicada, por un lado, las diferencias en los protocolos de medición o el caso de que nosotros comparamos con la extremidad no operada y ellos con sujetos sanos. Además como se ha reportado anteriormente, diferentes tipos de lesiones de tobillo pueden desarrollar estrategias motoras de equilibrio diferentes (Delahunt et al., 2007; Myers et al., 2003; Pozzi et al., 2015, 2015). Este hallazgo nos hace pensar que esta tarea fue la que supuso un mayor reto en el equilibrio estático en la extremidad operada a nuestros participantes. Enlazando estos hallazgos con el capítulo 3 de esta tesis, fue en esta tarea en la que las personas con fractura bimalleolar de tobillo mostraron un peor rendimiento a los 12 meses respecto a los controles sanos, concretamente una mayor velocidad de movimiento del CoP y una menor precisión del control postural (<LFS). Esto podría explicar porque en este trabajo se observó necesaria una mayor activación distal (tobillo) y total de la extremidad operada para poder estabilizar y mantener la estabilidad durante la tarea lo cual no se observó en tareas más sencillas. Apoyando estos resultados, numerosos autores han reportado como las tareas de equilibrio de mayor dificultad incrementa la activación muscular (Cimadoro et al., 2013; Donath et al., 2016; Gebel et al., 2019). Sin embargo, consideramos que es necesario realizar más estudios en esta línea de investigación con tal de corroborar o no estos hallazgos.

En relación al análisis agrupado de la musculatura, Fegert et al. no encontró diferencias en la activación muscular proximal o distal en el equilibrio unipodal entre sujetos con CAI y sujetos sanos un año después del último esguince (Feger et al., 2014), lo cual coincide con nuestros resultados. Por lo que el hecho de que en nuestros participantes no se observen en general diferencias en la activación proximal o distal entre la extremidad operada y la no operada y que además exista una mayor activación electromiográfica de la musculatura distal (i.e., tobillo) comparada con la proximal (i.e., cadera) en ambas extremidades, nos sugiere que nuestros participantes utilizaron principalmente una estrategia de tobillo para desarrollar las tareas de equilibrio estático. Por tanto parece que la musculatura del tobillo de la extremidad operada de nuestros participantes es competente para contrarrestar las perturbaciones que este tipo de tareas les generan (Jaber et al., 2018; M.-K. Kim & Kim, 2015; Loram & Lakie, 2002).

5.4.2 Control neuromuscular en el equilibrio dinámico

El principal hallazgo de este estudio se observó al analizar las tareas de alcance dinámico durante el YBT. A pesar de que la activación total de la extremidad inferior (6 músculos) al realizar el YBT_A fue similar en ambas extremidades inferiores, el efecto interacción observado en el ANOVA a los 6 meses después de la cirugía nos sugiere que la estrategia neuromuscular por segmentos [distal (tobillo) vs proximal (cadera)] fue diferente en cada una de ellas. Mientras en la extremidad no operada hubo una dominante activación distal, en la operada se observó una participación similar entre la musculatura proximal y distal. Asimismo, la activación de la musculatura proximal fue mayor respecto a la extremidad no operada. Basándonos en estos resultados, parece que las personas operadas de una fractura bimalleolar de tobillo desarrollan estrategias neuromusculares adaptativas en las cuales solicitan más la musculatura proximal (cadera), posiblemente para contrarrestar los déficits musculoesqueléticos en la parte distal (tobillo) (Dejong et al., 2020; Gribble et al., 2004), como podría ser la limitación de la flexión dorsal del tobillo que presentan las personas con fractura bimalleolar de tobillo (Albin et al., 2019; Nilsson et al., 2003, 2005). Similarmente en el YBT_{PM}, los datos sugieren una clara tendencia hacia que estos pacientes a los 6 meses después de la cirugía también son más dependientes de la musculatura proximal (cadera) para realizar esta dirección. A pesar de que dicha tendencia es evidente, tal como muestra el efecto interacción, estos resultados no llegaron a ser

significativos, probablemente debido al menor número de participantes que pudieron completar esta tarea (N= 12) en relación al YBT_A (N=15). Apoyando estos hallazgos, anteriormente se ha reportado como una alteración en una articulación pueden crear una actividad neural alterada y un reclutamiento muscular compensatorio en otros complejos articulares, lo que da lugar a patrones de movimiento alterados (Dejong et al., 2020; Gribble et al., 2004). Aunque estos patrones de movimiento alterado ayuden a poder realizar determinadas actividades a los pacientes y en cierta manera resulten funcionales, pueden ser patrones motores menos óptimos o eficientes lo que puede suponer futuras lesiones o sobrecargas (Delahunt et al., 2007; Gribble et al., 2004). Similarmente a nuestros resultados, en la literatura se han reportado adaptaciones proximales en individuos con lesión de tobillo o de rodilla (Bisson et al., 2011; Dejong et al., 2020; Jaber et al., 2018; M.-K. Kim & Kim, 2015; Norris & Trudelle-Jackson, 2011; Webster & Gribble, 2013). Estos cambios parecen inclinarse hacia la debilidad muscular de la cadera como los detectados en capítulos anteriores en esta población o hacia una menor activación de los músculos de la cadera (DeJong et al., 2019; Fatima et al., 2020; Feger et al., 2014; Jaber et al., 2018; M.-K. Kim & Kim, 2015; Webster & Gribble, 2013). Por otro lado, nuestros resultados coinciden en parte con los de Gribble et al. que reportaron como los sujetos con CAI tenían una mayor dependencia de las articulaciones proximales para realizar el SEBT, tal como demostraba el mayor pico de flexión de cadera que los pacientes necesitaban durante las tareas de equilibrio dinámico en comparación con los controles sanos (Gribble et al., 2004). Sin embargo, estos autores no registraron señales de EMG en la musculatura de la extremidad inferior, lo que limitó su capacidad para detallar completamente las estrategias de control neuromuscular utilizadas por estos sujetos (Pozzi et al., 2015). A los 12 meses, el patrón neuromuscular parece similar entre extremidades durante el YBT_A, así como en el resto de las direcciones del test. En parte nuestros resultados coinciden con los reportados por Feger et al. quienes no encontraron diferencias entre CAI y controles en los niveles de activación proximal o distal durante el YBT (Feger et al., 2014). Sin embargo, cabe destacar que ellos no compararon el comportamiento entre la parte proximal y distal de la extremidad inferior en cada grupo por tanto no establecen cual es la parte de la extremidad inferior que más contribuye en la realización de cada dirección del test como se ha realizado en este estudio. Esta explicación, sin embargo, no deja de ser una hipótesis ya que en este trabajo no se registraron datos cinemáticos de la extremidad inferior durante la ejecución de las

pruebas. Por otro lado, contrariamente a lo que esperábamos, no encontramos ninguna asociación entre el rendimiento en las tareas de equilibrio y la activación neuromuscular. Jaber et al. en su estudio si sugiere que los déficits en el rendimiento del YBT pueden estar asociados a la menor actividad neuromuscular que encontraron, sin embargo no analizaron estadísticamente esta correlación (Jaber et al. 2018).

Los resultados presentados en este capítulo están en línea con lo encontrado en capítulos anteriores. En ambos queda reflejado la importancia que tiene el complejo neuromuscular de la cadera de la extremidad operada de las personas con fractura bimalleolar de tobillo para poder ejecutar ciertas tareas dinámicas de equilibrio (Salas-Gómez et al., 2020).

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente expuesto, desde un punto de vista clínico es importante poder identificar y cuantificar de manera objetiva y tempranamente no solo la cantidad de movimiento sino también como es la calidad del movimiento para poder hacer un abordaje terapéutico específico de ellos.

En cuanto a las diferencias entre la extremidad operada y no operada en los músculos aislados, detectamos que aún después de 6 meses de la cirugía el tibial anterior de la extremidad operada mostraba un nivel de activación menor en el YBT_A. Lo cual coincide con lo reportado en sujetos con CAI respecto a sujetos sanos en el SEBT (Feger et al. 2014; Jaber et al. 2018). Sin embargo, a los 12 meses el comportamiento neuromuscular en general fue similar en ambas extremidades inferiores. En este sentido, Pozzi et al. han reportado una mayor activación en el YBT_{PM} en el tibial anterior y en el peroneo en los coper (sujetos con una historia de esguinces de tobillo pero que no han desarrollado CAI) respecto a controles sanos pero no en comparación con otros sujetos con lesión de tobillo (CAI)(Pozzi et al., 2015). Por lo que parece necesario poder comparar el comportamiento neuromuscular de las personas con fractura bimalleolar de tobillo con un grupo control de sujetos sanos ya que los mecanismos del sistema nervioso central podrían desempeñar un papel en los déficits funcionales en las personas con fractura bimalleolar de tobillo haciendo que se presenten déficits bilateralmente como ocurre en otras lesiones de tobillo (Bastien et al., 2014; Feger et al., 2015; Jaber et al., 2018).

5.4.3 Comportamiento muscular entre las direcciones del YBT y su relación con los parámetros musculoesqueléticos

A los 12 meses después de la cirugía las personas con fractura bimalleolar de tobillo mostraban en su extremidad operada una menor activación del tibial anterior en el YBT_A respecto a la dirección posteromedial. Similares resultados han sido encontrados en atletas sanos (Earl & Hertel, 2001).

Respecto al gastrocnemio lateral encontramos que la mayor activación fue durante el YBT_A. Estos resultados no coinciden con los encontrados por otros autores en sujetos sanos que reportan como la actividad del gastrocnemio no es dependiente de la dirección del SEBT (Earl & Hertel, 2001; Norris & Trudelle-Jackson, 2011). Quizás estas diferencias puedan explicarse por las características de nuestra población, la cual presentaba una limitación de la flexión dorsal. Esto puede hacer que esta tarea (el YBT_A) suponga un reto con unas altas demandas neuromusculares a las personas con fractura bimalleolar de tobillo ya que el YBT_A es la dirección del test que para su ejecución requiere de una mayor amplitud de flexión dorsal del tobillo (Albin et al. 2019; Basnett et al. 2013). Además, en este trabajo encontramos como durante el YBT_A y en el YBT_{PM}, era mayor la activación del gastrocnemio lateral en aquellos sujetos con un menor FDT_{ROM}. Sabemos cómo una limitación de la flexión dorsal de tobillo en tareas de soporte de peso y alcance como puede ser el YBT (triple flexión de la extremidad inferior), limita el movimiento en el plano sagital de la extremidad inferior dificultando el descenso del centro de masas lo cual genera unos movimientos compensatorios en el plano frontal y transversal del tobillo, de la rodilla y de la cadera (K. J. Kim et al., 2003; Macrum et al., 2012). Por ello, nosotros hipotetizamos que las personas con fractura bimalleolar de tobillo que participaron en este trabajo desarrollan una estrategia compensatoria aumentando la flexión de cadera e inclinando el tronco hacia delante para poder realizar un mayor alcance en el YBT_A y en el YBT_{PM}. Esto podría explicar la mayor actividad de la musculatura posterior para controlar el desplazamiento anterior del centro de gravedad (Delahunt et al., 2007). Además los movimientos compensatorios en el plano transversal les podrían suponer un mayor nivel de desequilibrio, lo que también explicaría la asociación entre un menor FDT_{ROM} y un mayor reclutamiento de la musculatura distal y proximal para intentar mantener la estabilidad durante el YBT (K. J. Kim et al., 2003). Por tanto, parece que aquellos sujetos que tienen una mayor limitación de movilidad en

el tobillo necesitan compensar con un mayor nivel de activación principalmente de la musculatura del tobillo durante acciones dinámicas como el YBT_A y el YBT_{PM}. Algunos autores interpretan como un aumento de activación muscular detectado en pacientes con lesión de tobillo en tareas de equilibrio puede ser una estrategia compensatoria exitosa por parte de la musculatura para mantener la estabilidad (Jaber et al., 2018).

Como resumen final, como otros autores han reportado, las diferencias en el tipo de patrón motor compensatorio en las tareas estáticas y dinámicas nos lleva a creer que las alteraciones del control motor en nuestra muestra (las personas operadas de una fractura bimalleolar de tobillo) son dependientes de la tarea como ocurre en los pacientes con CAI (Feger et al., 2014, 2015).

Por tanto, el estudio de la activación de los músculos de la extremidad inferior durante las tareas de equilibrio estático y dinámico (el YBT) es necesario y útil para los clínicos a la hora de seleccionar las herramientas de valoración y para cuantificar la calidad de movimiento. De esta forma, poder elegir los ejercicios de rehabilitación específicos en función de los déficits y de los objetivos establecidos. Basándonos en estos resultados, aunque consideramos que se requieren más estudios que profundicen en este campo con una mayor muestra, parece que el YBT especialmente en la dirección anterior, es un test sensible para detectar cambios en la estrategia motora en las personas con fractura bimalleolar de tobillo. Asimismo, sería importante evaluar el comportamiento neuromuscular durante otras tareas funcionales y analizar si la limitación de la movilidad del tobillo genera en otras tareas funcionales que requieren una flexión dorsal de tobillo como caminar, subir o bajar escaleras las compensaciones neuromusculares las observadas en el YBT u otras.



CAPÍTULO 6

EPÍLOGO

6.1. Conclusiones

La tesis doctoral incluye tres trabajos que se desprenden de un mismo estudio, los cuales aportan información útil para diseñar y aplicar programas de rehabilitación orientados a mejorar el equilibrio y la funcionalidad de las personas que han sido intervenidas quirúrgicamente tras haber sufrido una fractura bimalleolar de tobillo.

En el primer trabajo se analizó la fiabilidad del YBT para cuantificar los déficits de equilibrio dinámico con el objetivo de proporcionar a los clínicos e investigadores una herramienta válida para supervisar la recuperación del equilibrio dinámico unipodal dinámico de personas que habían sido sometidas a una cirugía tras una fractura bimalleolar de tobillo. Además, se evaluaron los déficits en el equilibrio dinámico en la extremidad operada respecto a la no operada. En el segundo trabajo se analizó cómo se veían afectados el equilibrio estático y dinámico a través de una plataforma de presiones y del YBT, la flexión dorsal del tobillo y la fuerza de la cadera y cómo evolucionan de los 6 y a los 12 meses después de la cirugía. Además, se exploró la relación entre las habilidades físicas y las variables clínicas, con los cuestionarios de funcionalidad del tobillo para entender que impacto tenían todos estos factores en la recuperación del equilibrio, de la flexión dorsal de tobillo y del estado funcional de estos pacientes. Y en el tercer trabajo se describieron y analizaron las adaptaciones neuromusculares en las personas operadas de una fractura bimalleolar de tobillo durante las tareas de equilibrio estático y dinámico. Además, se evaluó si existía relación entre el patrón neuromuscular, los déficits de equilibrio y los déficits musculoesqueléticos detectados en esta población.

6.1.1. Contribuciones e implicaciones clínicas de la tesis

Las principales contribuciones de esta tesis doctoral que se pueden extraer de estos 3 trabajos se presentan en los párrafos siguientes:

Los test de equilibrio

1. Los valores de fiabilidad absoluta y relativa del YBT fueron adecuados para cuantificar las alteraciones del equilibrio dinámico unipodal a partir de 6 meses después de la cirugía en las personas con fractura bimalleolar de tobillo. Además, para las diferencias entre extremidades en la dirección anterior del YBT pueden utilizarse como valores de referencia (3.3% basado en el SEM) para guiar la rehabilitación del equilibrio dinámico.
2. La batería de test para evaluar el equilibrio estático y dinámico implementadas mostraron ser unas herramientas sensibles y válidas para detectar déficits de equilibrio entre la extremidad operada y la no operada en nuestra muestra de personas con fractura bimalleolar de tobillo, así como los déficits respecto a sujetos sanos a medio y a largo plazo después de la cirugía.

Déficits de equilibrio detectados

3. En general las personas con fractura bimalleolar de tobillo tuvieron un peor equilibrio estático y dinámico a los 6 meses después de la cirugía. A los 6 meses después de la cirugía, las personas con fractura bimalleolar de tobillo mostraron en su extremidad operada déficits en el equilibrio dinámico en la dirección anterior del YBT y en la distancia compuesta del test con un moderado tamaño del efecto, así como déficits en el equilibrio estático en tareas unipodales y en posición de tándem con un moderado tamaño del efecto.

4. Hubo una evolución favorable del equilibrio, sin embargo, a los 12 meses después de la cirugía las personas con fractura bimalleolar de tobillo aún muestran déficits de equilibrio dinámico y estático en comparación con la extremidad no operada y con el grupo de control en tareas con alta demandas como el YBT en la dirección anterior y la tarea de equilibrio en apoyo unipodal con los ojos cerrados. Las diferencias con el grupo control tuvieron un moderado y largo tamaño del efecto.

Déficits de movilidad del tobillo en flexión dorsal y fuerza de la cadera

5. Los déficits del movimiento de flexión dorsal del tobillo y de la fuerza de los abductores de cadera detectados a los 6 meses evolucionaron favorablemente en nuestra muestra, sin embargo, las personas con fractura bimalleolar de tobillo aún presentaban una limitación de la flexión dorsal un año después de la cirugía con un largo tamaño del efecto respecto a la extremidad operada y al grupo control.

Relación entre la movilidad del tobillo, la fuerza de la cadera, el equilibrio y la funcionalidad del tobillo

6. Se observó que el equilibrio, la fuerza de la cadera y la movilidad en flexión dorsal del tobillo se correlacionaron con las puntuaciones de la AOFAS_{AH} y la OMAS, Así pues, el equilibrio, la fuerza de la cadera y la amplitud de movimiento del tobillo parece que pueden ser índices fiables para evaluar el estado funcional de las personas con fractura bimalleolar de tobillo después de la cirugía.
7. Respecto al equilibrio dinámico, igualmente que, a los 6 meses, a los 12 meses el rendimiento adecuado de la YBT_A se asoció con un mayor rango de movimiento de flexión dorsal del tobillo y con una mayor fuerza de los músculos abductores y aductores de la cadera. Además, se detectó que el estado de las personas con fractura bimalleolar de tobillo a medio plazo (6 meses) en cuanto a estos parámetros predecía la capacidad en el rendimiento del equilibrio dinámico

(YBT_A) y del estado funcional percibido por las personas con fractura bimalleolar de tobillo que tenían al año después de la cirugía.

Cambios neuromusculares

8. Nuestra muestra de personas con fractura bimalleolar de tobillo que han sufrido una fractura bimalleolar de tobillo a los 6 meses después de la cirugía presentan alteraciones neuromusculares en extremidad operada detectados durante ejercicios dinámicos principalmente como el YBT_A, lo cual nos sugiere que las adaptaciones neuromusculares o cambios en la estrategia motora son dependientes de la tarea.
9. Parece que nuestra muestra de personas con fractura bimalleolar de tobillo desarrollan una estrategia motora compensatoria la cual requiere de un mayor reclutamiento de la musculatura proximal (cadera) para realizar el YBT_A.
10. Por último, parece que la limitación del FDT_{ROM} generan un mayor reclutamiento de la musculatura distal (tobillo) en las tareas de alcance como el YBT que requieren de un mayor FDT_{ROM}.
11. Después de un año de la cirugía el patrón motor bilateralmente es similar tanto en tareas dinámicas como estáticas.

Impacto de variables clínicas

12. Finalmente, se detectó que los periodos de inmovilización y descarga después de la cirugía fueron factores notables para la restauración de la amplitud de movimiento del tobillo.

Implicaciones clínicas

Dado que la fuerza de la cadera, la movilidad en flexión dorsal del tobillo y el equilibrio parecen índices fiables del estado funcional del paciente, podrían ser incorporados a las sesiones de evaluación y tratamiento de las personas operadas tras una fractura bimalleolar de tobillo. Además, parece importante abordar estos factores tempranamente para favorecer una restauración funcional lo más temprana posible. Asimismo, con el objetivo de optimizar los procesos de recuperación después de la cirugía de tobillo, parece importante que los programas de rehabilitación del equilibrio en esta población se centren en mejorar la funcionalidad tanto del complejo articular y neuromuscular tobillo como el de zonas más proximales como de la cadera. Por lo tanto, debido al impacto que la fuerza de la cadera y la movilidad del tobillo tienen en el equilibrio, parece relevante abordar los déficits de fuerza de la abducción de cadera desde las primeras fases de la rehabilitación mediante ejercicios específicos de fortalecimiento de la cadera y los ejercicios destinados a mejorar la amplitud de la flexión dorsal de tobillo deberían realizarse durante mucho tiempo después de la cirugía. Asimismo, parece importante mejorar la movilidad de tobillo con el objetivo de restaurar el equilibrio dinámico, normalizar la actividad neuromuscular del tobillo y minimizar las estrategias compensatorias durante las tareas dinámicas o funcionales que impliquen este movimiento de flexión dorsal como puede ser subir o bajar escaleras, la marcha o la carrera.

En cuanto a los ejercicios de equilibrio nuestros resultados sugieren que sería aconsejable que los programas de rehabilitación abordaran en las primeras etapas de la rehabilitación los déficits de equilibrio a través de tareas estáticas que implicaran una reducción de la base de sustentación como las tareas de equilibrio en apoyo unipodal o las tareas en posición de tándem, y que progresaran en dificultad en las etapas posteriores, realizando ejercicios estáticos con los ojos cerrados. Además, se podrían implementar ejercicios dinámicos como el YBT, ya que parece una tarea precisa y global para abordar de manera conjunta los déficits encontrados en las personas con fractura bimalleolar de tobillo ya que la capacidad de una persona para realizar esta tarea depende de una combinación exitosa de factores como la amplitud de movimiento de tobillo, el control neuromuscular de toda la extremidad inferior y la fuerza de los músculos del tobillo, la rodilla y la cadera.

6.2. Limitaciones de los trabajos y futuras investigaciones

Esta tesis doctoral presenta algunas limitaciones, que deben tenerse en cuenta para la interpretación y aplicación de los resultados, las cuales dan pie a futuras investigaciones:

1. Los resultados de las mediciones del equilibrio estático y dinámico, de la fuerza, así como el registro de las MVCs podrían estar sujetas a alteraciones en su valor real ya que los valores obtenidos pudieron estar influenciados por factores individuales tales como la implicación, la motivación, el cansancio o la aparición de síntomas en el tobillo durante la ejecución de la prueba o toma de los datos, aunque estos aspectos se tuvieron presentes con tal de minimizar los posibles sesgos.
2. El tiempo de ejecución de las tareas dinámicas no se estandarizó y cada sujeto empleo el necesario para realizar la tarea de alcance. Futuros estudios deberían controlar estas variables y estandarizar las pruebas dinámicas en cuanto al tiempo de ejecución e incluso diferenciar la tarea en su fase concéntrica y excéntrica para el posterior análisis, así como controlar los posibles movimientos compensatorios.
3. Otra limitación está relacionada con la no valoración de algunos parámetros físicos que pueden tener un impacto en el equilibrio (por ejemplo, la fuerza de los músculos del tobillo, de la rodilla, otros músculos de la cadera o musculatura del tronco). Por lo que futuros estudios deberían estudiar la fuerza de otros segmentos corporales del tobillo, de la rodilla, del tronco u otros músculos de la cadera para evaluar el impacto que tienen en el equilibrio en las personas con fractura bimalleolar de tobillo.
4. Así mismo, tampoco hubo una evaluación cinemática, durante la evaluación del equilibrio. Por ello se debería profundizar en este campo añadiendo un análisis cinemático que permitiese evaluar el comportamiento del tobillo, de la rodilla, del tronco y de la cadera durante las diversas tareas de equilibrio estático y dinámico lo cual ayudaría a los clínicos a comprender más ampliamente las posibles adaptaciones y estrategias adoptadas por las personas con fractura bimalleolar de

tobillo. Futuros estudios en este campo deben incluir variables cinemáticas en el estudio del equilibrio.

5. Otra de las limitaciones que se deben tener en cuenta es que, aunque esta tesis muestra metodologías que pueden ser extrapoladas al ámbito clínico y aporta información relevante para los clínicos para comprender mejor la relación entre las capacidades físicas evaluadas y el estado funcional percibido por los pacientes, se tratan de estudios observacionales por lo que es necesario desarrollar estudios experimentales para evaluar tanto la aplicabilidad de estas metodologías de valoración como evaluar qué impacto tiene un programa de rehabilitación centrada en los factores que en esta tesis hemos observados son relevantes para el equilibrio y el estado funcional.

6. Además, aunque el tamaño de la muestra podría considerarse adecuado para un estudio biomecánico que incluye una evaluación estabilométrica y electromiográfica, seguiría siendo bajo para proporcionar una referencia normativa y puede afectar al análisis correlacional. De esta forma, el tamaño de la muestra no ha permitido evaluar el impacto de otros factores como el tipo de fractura bimalleolar, toma de medicamentos, complicaciones postcirugía, etc. Otra limitación fue la diferencia en el tamaño de la muestra entre grupos. En este sentido, tener grupos de igual tamaño podría haber mejorado la calidad de los resultados. Por tanto, se propone establecer estudios futuros con una mayor muestra que permita establecer datos normativos del estado funcional y del equilibrio y su evolución con el objetivo de poder informar a las personas con fractura bimalleolar de tobillo sobre el pronóstico de su recuperación.

7. Así mismo realizar futuros estudios de investigación en esta línea utilizando la metodología utilizada en esta tesis y con las mejoras propuestas ayudaría a resolver las cuestiones nuevas que han surgido de esta tesis como el papel que juega la cinemática de la extremidad inferior en el YBT, o la implicación visual en la estrategia de equilibrio de las personas con fractura bimalleolar de tobillo. El poder profundizar en estos aspectos podría hacer que otros enfoques terapéuticos

fueran considerados en el abordaje de los déficits de equilibrio en las personas que han sufrido una fractura bimalleolar de tobillo.



REFERENCIAS

REFERENCIAS

- Ageberg, E., Zätterström, R., Fridén, T., & Moritz, U. (2001). Individual factors affecting stabilometry and one-leg hop test in 75 healthy subjects, aged 15-44 years. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 11(1), 47–53. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2001.011001047.x>
- Albin, S. R., Koppenhaver, S. L., Marcus, R., Dibble, L., Cornwall, M., & Fritz, J. M. (2019). Short-term Effects of Manual Therapy in Patients After Surgical Fixation of Ankle and/or Hindfoot Fracture: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 49(5), 310–319. <https://doi.org/10.2519/jospt.2019.8864>
- Alnahdi, A. H., Alderaa, A. A., Aldali, A. Z., & Alsobayel, H. (2015). Reference values for the Y Balance Test and the lower extremity functional scale in young healthy adults. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(12), 3917–3921. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.3917>
- Barati, A. H., Bagheri, A., Azimi, R., Darchini, M. A., & Nik, H. N. (2013). Comparison Balance and Footprint Parameters in Normal and Overweight Children. *International Journal of Preventive Medicine*, 4(Suppl 1), S92–S97.
- Barbado Murillo, D., Sabido Solana, R., Vera-Garcia, F. J., Gusi Fuertes, N., & Moreno, F. J. (2012). Effect of increasing difficulty in standing balance tasks with visual feedback on postural sway and EMG: Complexity and performance. *Human Movement Science*, 31(5), 1224–1237. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2012.01.002>
- Basnett, C. R., Hanish, M. J., Wheeler, T. J., Miriovsky, D. J., Danielson, E. L., Barr, J. B., & Grindstaff, T. L. (2013). ANKLE DORSIFLEXION RANGE OF MOTION INFLUENCES DYNAMIC BALANCE IN INDIVIDUALS WITH CHRONIC ANKLE INSTABILITY. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 8(2), 121–128.

- Bastien, M., Moffet, H., Bouyer, L. J., Perron, M., Hébert, L. J., & Leblond, J. (2014). Alteration in global motor strategy following lateral ankle sprain. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *15*(1), 436. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-15-436>
- Baumgarten, A., Kim, J. K., Robison, J., Mayer, J., Hardwick, D., & Patel, T. (2020). Analysis of surgeon biometrics during open and robotic radical cystectomy with electromyography and motion capture analysis. *International Brazilian Journal of Urology: Official Journal of the Brazilian Society of Urology*, *46*(1), 138. <https://doi.org/10.1590/S1677-5538.IBJU.2019.0163>
- Beckman, S. M., & Buchanan, T. S. (1995). Ankle inversion injury and hypermobility: Effect on hip and ankle muscle electromyography onset latency. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *76*(12), 1138–1143. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(95\)80123-5](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(95)80123-5)
- Bertrand-Charette, M., Dambreville, C., Bouyer, L. J., & Roy, J.-S. (2020). Systematic review of motor control and somatosensation assessment tests for the ankle. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, *6*(1), e000685. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000685>
- Besomi, M., Hodges, P. W., Clancy, E. A., Van Dieën, J., Hug, F., Lowery, M., Merletti, R., Sjøgaard, K., Wrigley, T., Besier, T., Carson, R. G., Disselhorst-Klug, C., Enoka, R. M., Falla, D., Farina, D., Gandevia, S., Holobar, A., Kiernan, M. C., McGill, K., ... Tucker, K. (2020). Consensus for experimental design in electromyography (CEDE) project: Amplitude normalization matrix. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, *53*, 102438. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2020.102438>
- Bielska, I., Wang, X., Lee, R., & Johnson, A. (2017). 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*, 39.
<https://doi.org/10.1016/j.foot.2017.07.003>

Bisson, E. J., McEwen, D., Lajoie, Y., & Bilodeau, M. (2011). Effects of ankle and hip muscle fatigue on postural sway and attentional demands during unipedal stance. *Gait & Posture*, 33(1), 83–87. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.10.001>

Black, J. D. J., Bhavikatti, M., Al-Hadithy, N., Hakmi, A., & Kitson, J. (2013). Early Weight-Bearing in Operatively Fixed Ankle Fractures: A Systematic Review. *Foot (Edinburgh, Scotland)*, 23(2–3), 78–85. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2013.05.002>

Brockett, C. L., & Chapman, G. J. (2016). Biomechanics of the ankle. *Orthopaedics and Trauma*, 30(3), 232–238. <https://doi.org/10.1016/j.mporth.2016.04.015>

Büker, N., Şavkın, R., & Ök, N. (2019). Comparison of Supervised Exercise and Home Exercise After Ankle Fracture. *The Journal of Foot and Ankle Surgery: Official Publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 58(5), 822–827. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2018.11.021>

Butler, R. J., Lehr, M. E., Fink, M. L., Kiesel, K. B., & Plisky, P. J. (2013). Dynamic Balance Performance and Noncontact Lower Extremity Injury in College Football Players. *Sports Health*, 5(5), 417–422. <https://doi.org/10.1177/1941738113498703>

Caballero, C., Barbado, D., & Moreno, F. J. (2015). What COP and Kinematic Parameters Better Characterize Postural Control in Standing Balance Tasks? *Journal of Motor Behavior*, 47(6), 550–562. <https://doi.org/10.1080/00222895.2015.1014545>

Carpenter, M. G., Frank, J. S., Winter, D. A., & Peysar, G. W. (2001). Sampling duration effects on centre of pressure summary measures. *Gait & Posture*, 13(1), 35–40. [https://doi.org/10.1016/s0966-6362\(00\)00093-x](https://doi.org/10.1016/s0966-6362(00)00093-x)

Ceccarelli, F., Calderazzi, F., & Pedrazzi, G. (2013). Is There a Relation between AOFAS Ankle-Hindfoot Score and SF-36 in Evaluation of Achilles Ruptures Treated by Percutaneous Technique? *The Journal of Foot and Ankle Surgery : Official Publication of*

the American College of Foot and Ankle Surgeons, 53.

<https://doi.org/10.1053/j.jfas.2013.09.005>

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

<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2013.05.025>

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. L. Erlbaum Associates.

Coughlan, G. F., Fullam, K., Delahunt, E., Gissane, C., Caulfield, B. M., & Sci, M. (2012). A Comparison Between Performance on Selected Directions of the Star Excursion Balance Test and the Y Balance Test. *Journal of Athletic Training*, 47(4), 366–371.

Court-Brown, C. M., & Caesar, B. (2006). Epidemiology of adult fractures: A review. *Injury*, 37(8), 691–697. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2006.04.130>

de Boer, A. S., Tjioe, R. J. C., Van der Sijde, F., Meuffels, D. E., den Hoed, P. T., Van der Vlies, C. H., Tuinebreijer, W. E., Verhofstad, M. H. J., Van Lieshout, E. M. M., & AOFAS Study Group. (2017). The American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Scale; translation and validation of the Dutch language version for ankle fractures. *BMJ Open*, 7(8), e017040. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-017040>

Dejong, A. F., Koldenhoven, R. M., & Hertel, J. (2020). Proximal Adaptations in Chronic Ankle Instability: Systematic Review and Meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(7), 1563–1575. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002282>

DeJong, A. F., Mangum, L. C., & Hertel, J. (2019). Ultrasound Imaging of the Gluteal Muscles During the Y-Balance Test in Individuals With or Without Chronic Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-363-18>

Delahunt, E., Monaghan, K., & Caulfield, B. (2007). Ankle function during hopping in subjects with functional instability of the ankle joint. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 17(6), 641–648. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00612.x>

- Dill, K. E., Begalle, R. L., Frank, B. S., Zinder, S. M., & Padua, D. A. (2014). Altered knee and ankle kinematics during squatting in those with limited weight-bearing-lunge ankle-dorsiflexion range of motion. *Journal of Athletic Training, 49*(6), 723–732. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.3.29>
- Donath, L., Kurz, E., Roth, R., Zahner, L., & Faude, O. (2016). Leg and trunk muscle coordination and postural sway during increasingly difficult standing balance tasks in young and older adults. *Maturitas, 91*, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2016.05.010>
- Donken, C. C. M. A., Al-Khateeb, H., Verhofstad, M. H. J., & van Laarhoven, C. J. H. M. (2012). Surgical versus conservative interventions for treating ankle fractures in adults. *The Cochrane Database of Systematic Reviews, 8*, CD008470. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008470.pub2>
- Dudek, K., Drużbicki, M., Przysada, G., & Śpiewak, D. (2014). *Assessment of standing balance in patients after ankle fractures. 16*(4), 59–65.
- Earl, J. E., & Hertel, J. (2001). Lower-Extremity Muscle Activation during the Star Excursion Balance Tests. *Journal of Sport Rehabilitation, 10*(2), 93–104. <https://doi.org/10.1123/jsr.10.2.93>
- Egol, K. A., Dolan, R., & Koval, K. J. (2000). Functional outcome of surgery for fractures of the ankle. A prospective, randomised comparison of management in a cast or a functional brace. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume, 82*(2), 246–249.
- Egol, K. A., Tejwani, N. C., Walsh, M. G., Capla, E. L., & Koval, K. J. (2006). Predictors of short-term functional outcome following ankle fracture surgery. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume, 88*(5), 974–979. <https://doi.org/10.2106/JBJS.E.00343>
- Elsoe, R., Ostgaard, S. E., & Larsen, P. (2018). Population-based epidemiology of 9767 ankle fractures. *Foot and Ankle Surgery, 24*(1), 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2016.11.002>

- Evans, T., Hertel, J., & Sebastianelli, W. (2004). Bilateral deficits in postural control following lateral ankle sprain. *Foot & Ankle International*, 25(11), 833–839. <https://doi.org/10.1177/107110070402501114>
- Fabbri, M., Martoni, M., Esposito, M. J., Brighetti, G., & Natale, V. (2006). Postural control after a night without sleep. *Neuropsychologia*, 44(12), 2520–2525. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.03.033>
- Faigenbaum, A. D., Bagley, J., Boise, S., Farrell, A., Bates, N., & Myer, G. D. (2015). Dynamic Balance in Children: Performance Comparison Between Two Testing Devices. *Athletic Training and Sports Health Care*, 7(4), 160–164. <https://doi.org/10.3928/19425864-20150707-06>
- Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., Fernandez, I. P., Carrasco, E. G., Bates, N., Farrell, A., Ratamess, N. A., & Kang, J. (2014). Feasibility and reliability of dynamic postural control measures in children in first through fifth grades. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 9(2), 140–148.
- Fatima, S., Bhati, P., Singla, D., Choudhary, S., & Hussain, M. E. (2020). Electromyographic Activity of Hip Musculature During Functional Exercises in Participants With and Without Chronic Ankle Instability. *Journal of Chiropractic Medicine*, 19(1), 82–90. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2019.07.002>
- Feger, M. A., Donovan, L., Hart, J. M., & Hertel, J. (2014). Lower extremity muscle activation during functional exercises in patients with and without chronic ankle instability. *PM & R: The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation*, 6(7), 602–611; quiz 611. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2013.12.013>
- Feger, M. A., Donovan, L., Hart, J. M., & Hertel, J. (2015). Lower extremity muscle activation in patients with or without chronic ankle instability during walking. *Journal of Athletic Training*, 50(4), 350–357. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-50.2.06>

Fleiss, J. L. (1986). Analysis of data from multiclinic trials. *Controlled Clinical Trials*, 7(4), 267–275.

Fonseca, L. L. da, Nunes, I. G., Nogueira, R. R., Martins, G. E. V., Mesencio, A. C., & Kobata, S. I. (2017). Reproducibility of the Lauge-Hansen, Danis-Weber, and AO classifications for ankle fractures. *Revista Brasileira de Ortopedia*, 53(1), 101–106. <https://doi.org/10.1016/j.rboe.2017.11.013>

Forti, S., Filipponi, E., Barozzi, S., & Cesarani, A. (2010). The influence of music on static posturography. *Journal of Vestibular Research : Equilibrium & Orientation*, 20, 351–356. <https://doi.org/10.3233/VES-2010-0361>

Fullam, K., Caulfield, B., Coughlan, G. F., & Delahunt, E. (2014). Kinematic analysis of selected reach directions of the Star Excursion Balance Test compared with the Y-Balance Test. *Journal of Sport Rehabilitation*, 23(1), 27–35. <https://doi.org/10.1123/jsr.2012-0114>

Gabriner, M. L., Houston, M. N., Kirby, J. L., & Hoch, M. C. (2015). Contributing factors to star excursion balance test performance in individuals with chronic ankle instability. *Gait & Posture*, 41(4), 912–916. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.03.013>

Garrison, J. C., Bothwell, J. M., Wolf, G., Aryal, S., & Thigpen, C. A. (2015). Y BALANCE TEST™ ANTERIOR REACH SYMMETRY AT THREE MONTHS IS RELATED TO SINGLE LEG FUNCTIONAL PERFORMANCE AT TIME OF RETURN TO SPORTS FOLLOWING ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(5), 602–611.

Gebel, A., Lüder, B., & Granacher, U. (2019). Effects of Increasing Balance Task Difficulty on Postural Sway and Muscle Activity in Healthy Adolescents. *Frontiers in Physiology*, 10, 1135. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01135>

- Giannini, S., Faldini, C., Acri, F., Leonetti, D., Luciani, D., & Nanni, M. (2010). Surgical treatment of post-traumatic malalignment of the ankle. *Injury*, *41*(11), 1208–1211. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2010.09.017>
- Gillette, J. C., & Abbas, J. J. (2003). Foot Placement Alters the Mechanisms of Postural Control While Standing and Reaching. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering: A Publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, *11*(4), 377–385. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2003.819790>
- Goost, H., Wimmer*, M. D., Barg, A., Kabir, K., Valderrabano, V., & Burger, C. (2014). Fractures of the Ankle Joint. *Deutsches Ärzteblatt International*, *111*(21), 377–388. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2014.0377>
- Gribble, P. A., & Hertel, J. (2003). Considerations for Normalizing Measures of the Star Excursion Balance Test. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, *7*(2), 89–100. https://doi.org/10.1207/S15327841MPPE0702_3
- Gribble, P. A., Hertel, J., Denegar, C. R., & Buckley, W. E. (2004). The Effects of Fatigue and Chronic Ankle Instability on Dynamic Postural Control. *Journal of Athletic Training*, *39*(4), 321–329.
- Gul, A., Batra, S., Mehmood, S., & Gillham, N. (2007). Immediate unprotected weight-bearing of operatively treated ankle fractures. *Acta Orthopaedica Belgica*, *73*(3), 360–365.
- Halaki, M., & Ginn, K. (2012). Normalization of EMG Signals: To Normalize or Not to Normalize and What to Normalize to? In *Computational Intelligence in Electromyography Analysis—A Perspective on Current Applications and Future Challenges* (pp. 175–194). <https://doi.org/10.5772/49957>
- Hancock, M. J., Herbert, R. D., & Stewart, M. (2005). Prediction of outcome after ankle fracture. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *35*(12), 786–792. <https://doi.org/10.2519/jospt.2005.35.12.786>

- Hasselmann, C. T., Vogt, M. T., Stone, K. L., Cauley, J. A., & Conti, S. F. (2003). Foot and ankle fractures in elderly white women. Incidence and risk factors. *The Journal of Bone and Joint Surgery, American Volume*, 85(5), 820–824. <https://doi.org/10.2106/00004623-200305000-00008>
- Hedges, L., & Olkin, I. (1985). Statistical Methods in Meta-Analysis. In *Stat Med* (Vol. 20). <https://doi.org/10.2307/1164953>
- Hermens, H. J., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C., & Rau, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 10(5), 361–374. [https://doi.org/10.1016/s1050-6411\(00\)00027-4](https://doi.org/10.1016/s1050-6411(00)00027-4)
- Hertel, J., Braham, R. A., Hale, S. A., & Olmsted-Kramer, L. C. (2006). Simplifying the star excursion balance test: Analyses of subjects with and without chronic ankle instability. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 36(3), 131–137. <https://doi.org/10.2519/jospt.2006.36.3.131>
- Hoch, M. C., Farwell, K. E., Gaven, S. L., & Weinhandl, J. T. (2015). Weight-Bearing Dorsiflexion Range of Motion and Landing Biomechanics in Individuals With Chronic Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*, 50(8), 833–839. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-50.5.07>
- Hoch, M. C., Staton, G. S., & McKeon, P. O. (2011). Dorsiflexion range of motion significantly influences dynamic balance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(1), 90–92. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.08.001>
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 30(1), 1–15. <https://doi.org/10.2165/00007256-200030010-00001>

- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *41*(1), 3–13. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*, *35 Suppl 2*, ii7–ii11. <https://doi.org/10.1093/ageing/afl077>
- Hubbard, T. J., Kramer, L. C., Denegar, C. R., & Hertel, J. (2007a). Correlations Among Multiple Measures of Functional and Mechanical Instability in Subjects With Chronic Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*, *42*(3), 361–366.
- Hubbard, T. J., Kramer, L. C., Denegar, C. R., & Hertel, J. (2007b). Contributing factors to chronic ankle instability. *Foot & Ankle International*, *28*(3), 343–354. <https://doi.org/10.3113/FAI.2007.0343>
- Ivanenko, Y., & Gurfinkel, V. S. (2018). Human Postural Control. *Frontiers in Neuroscience*, *12*, 171. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00171>
- Jaber, H., Lohman, E., Daher, N., Bains, G., Nagaraj, A., Mayekar, P., Shanbhag, M., & Alameri, M. (2018). Neuromuscular control of ankle and hip during performance of the star excursion balance test in subjects with and without chronic ankle instability. *PLoS One*, *13*(8), e0201479. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201479>
- Jansen, H., Jordan, M., Frey, S., Hölscher-Doht, S., Meffert, R., & Heintel, T. (2017). Active controlled motion in early rehabilitation improves outcome after ankle fractures: A randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*. <https://doi.org/10.1177/0269215517724192>
- Jensen, S. L., Andresen, B. K., Mencke, S., & Nielsen, P. T. (1998). Epidemiology of ankle fractures. A prospective population-based study of 212 cases in Aalborg, Denmark. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, *69*(1), 48–50. <https://doi.org/10.3109/17453679809002356>

- Johnson, J. W. (2000). A Heuristic Method for Estimating the Relative Weight of Predictor Variables in Multiple Regression. *Multivariate Behavioral Research*, 35(1), 1–19. https://doi.org/10.1207/S15327906MBR3501_1
- Juto, H., Möller, M., Wennergren, D., Edin, K., Apelqvist, I., & Morberg, P. (2016). Substantial accuracy of fracture classification in the Swedish Fracture Register: Evaluation of AO/OTA-classification in 152 ankle fractures. *Injury*, 47(11), 2579–2583. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2016.05.028>
- Juto, H., Nilsson, H., & Morberg, P. (2018). Epidemiology of Adult Ankle Fractures: 1756 cases identified in Norrbotten County during 2009–2013 and classified according to AO/OTA. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 19. <https://doi.org/10.1186/s12891-018-2326-x>
- Kanamiya, Y., Ota, S., & Sato, D. (2010). Ankle and hip balance control strategies with transitions. *2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2010.5509785>
- Kang, M.-H., Lee, D.-K., Park, K.-H., & Oh, J.-S. (2015). Association of ankle kinematics and performance on the y-balance test with inclinometer measurements on the weight-bearing-lunge test. *Journal of Sport Rehabilitation*, 24(1), 62–67. <https://doi.org/10.1123/jsr.2013-0117>
- Karimi, M. T., & Solomonidis, S. (2011). The relationship between parameters of static and dynamic stability tests. *Journal of Research in Medical Sciences: The Official Journal of Isfahan University of Medical Sciences*, 16(4), 530–535.
- Kawai, H., Taniguchi, Y., Seino, S., Sakurai, R., Osuka, Y., Obuchi, S., Watanabe, Y., Kim, H., Inagaki, H., Kitamura, A., Awata, S., & Shinkai, S. (2019). Reference values of gait parameters measured with a plantar pressure platform in community-dwelling older Japanese adults. *Clinical Interventions in Aging*, 14, 1265–1276. <https://doi.org/10.2147/CIA.S213216>

Kelln, B. M., McKeon, P. O., Gontkof, L. M., & Hertel, J. (2008). Hand-held dynamometry: Reliability of lower extremity muscle testing in healthy, physically active, young adults. *Journal of Sport Rehabilitation, 17*(2), 160–170.

Kim, K. J., Uchiyama, E., Kitaoka, H. B., & An, K. N. (2003). An in vitro study of individual ankle muscle actions on the center of pressure. *Gait & Posture, 17*(2), 125–131. [https://doi.org/10.1016/s0966-6362\(02\)00063-2](https://doi.org/10.1016/s0966-6362(02)00063-2)

Kim, K.-M. (2020). Higher visual reliance during single-leg balance bilaterally occurring following acute lateral ankle sprain: A potential central mechanism of bilateral sensorimotor deficits. *Gait & Posture, 78*. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.03.003>

Kim, M.-K., & Kim, S.-G. (2015). Analysis of the correlation between the differences in muscle strengths between the bilateral lower extremities and postural stability in healthy adults. *Journal of Physical Therapy Science, 27*(10), 3103–3104. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.3103>

Kim, S.-G., & Kim, W.-S. (2018). Effect of Ankle Range of Motion (ROM) and Lower-Extremity Muscle Strength on Static Balance Control Ability in Young Adults: A Regression Analysis. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research, 24*, 3168–3175. <https://doi.org/10.12659/MSM.908260>

Kiss, R., Schedler, S., & Muehlbauer, T. (2018). Associations Between Types of Balance Performance in Healthy Individuals Across the Lifespan: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology, 9*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01366>

Kitaoka, H. B., Alexander, I. J., Adelaar, R. S., Nunley, J. A., Myerson, M. S., & Sanders, M. (1994). Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Foot & Ankle International, 15*(7), 349–353. <https://doi.org/10.1177/107110079401500701>

- Ko, S., Simonsick, E. M., Despande, N., Studenski, S., & Ferrucci, L. (2016). Ankle Proprioception Associated Gait Patterns in Older Adults: Results from the BLSA. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(11), 2190–2194. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001017>
- Konor, M. M., Morton, S., Eckerson, J. M., & Grindstaff, T. L. (2012). RELIABILITY OF THREE MEASURES OF ANKLE DORSIFLEXION RANGE OF MOTION. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 7(3), 279–287.
- Koujan, K., & Saber, A. Y. (2020). Bimalleolar Ankle Fractures. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK562254/>
- Larsen, P., Nielsen, H. B., Lund, C., Sørensen, D. S., Larsen, B. T., Matthews, M., Vicenzino, B., & Elsoe, R. (2016). A novel tool for measuring ankle dorsiflexion: A study of its reliability in patients following ankle fractures. *Foot and Ankle Surgery: Official Journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*, 22(4), 274–277. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2016.01.008>
- Lash, N., Horne, G., Fielden, J., & Devane, P. (2002). Ankle fractures: Functional and lifestyle outcomes at 2 years. *ANZ Journal of Surgery*, 72(10), 724–730. <https://doi.org/10.1046/j.1445-2197.2002.02530.x>
- LeBlanc, A. D., Schneider, V. S., Evans, H. J., Pientok, C., Rowe, R., & Spector, E. (1992). Regional changes in muscle mass following 17 weeks of bed rest. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 73(5), 2172–2178. <https://doi.org/10.1152/jappl.1992.73.5.2172>
- Li, J., Zhang, Y., Song, S., Hou, Y., Hong, Y., Yue, S., & Li, K. (2020). Dynamical Analysis of Standing Balance Control on Sloped Surfaces in Individuals with Lumbar Disc Herniation. *Scientific Reports*, 10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58455-z>

- Li, Z., Liang, Y.-Y., Wang, L., Sheng, J., & Ma, S.-J. (2016). Reliability and validity of center of pressure measures for balance assessment in older adults. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(4), 1364–1367. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.1364>
- Lin, C.-W. C., Donkers, N. A. J., Refshauge, K. M., Beckenkamp, P. R., Khera, K., & Moseley, A. M. (2012). Rehabilitation for ankle fractures in adults. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 11, CD005595. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005595.pub3>
- Lin, C.-W. C., Moseley, A. M., & Refshauge, K. M. (2009). Effects of rehabilitation after ankle fracture: A Cochrane systematic review. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 45(3), 431–441.
- Lindsjö, U. (1985). Operative treatment of ankle fracture-dislocations. A follow-up study of 306/321 consecutive cases. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 199, 28–38.
- Linek, P., Sikora, D., Wolny, T., & Saulicz, E. (2017). Reliability and number of trials of Y Balance Test in adolescent athletes. *Musculoskeletal Science & Practice*, 31, 72–75. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2017.03.011>
- Liu, S., Zhu, Y., Chen, W., Wang, L., Zhang, X., & Zhang, Y. (2018). Demographic and socioeconomic factors influencing the incidence of ankle fractures, a national population-based survey of 512187 individuals. *Scientific Reports*, 8(1), 10443. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28722-1>
- Lohman, T. G., Roche, A. F., & Martorell, R. (1991). *Anthropometric standardization reference manual*. Human Kinetics Books.
- López-Valenciano, A., Ayala, F., De Ste Croix, M., Barbado, D., & Vera-Garcia, F. J. (2019). Different neuromuscular parameters influence dynamic balance in male and female football players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 27(3), 962–970. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5088-y>

- Loram, I. D., & Lakie, M. (2002). Human balancing of an inverted pendulum: Position control by small, ballistic-like, throw and catch movements. *The Journal of Physiology*, 540(Pt 3), 1111–1124. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2001.013077>
- Loram, I. D., Maganaris, C. N., & Lakie, M. (2005). Human postural sway results from frequent, ballistic bias impulses by soleus and gastrocnemius. *The Journal of Physiology*, 564(Pt 1), 295–311. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.076307>
- Macrum, E., Bell, D. R., Boling, M., Lewek, M., & Padua, D. (2012). Effect of limiting ankle-dorsiflexion range of motion on lower extremity kinematics and muscle-activation patterns during a squat. *Journal of Sport Rehabilitation*, 21(2), 144–150. <https://doi.org/10.1123/jsr.21.2.144>
- Malek, I. A., Machani, B., Mevcha, A. M., & Hyder, N. H. (2006). Inter-observer reliability and intra-observer reproducibility of the Weber classification of ankle fractures. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 88(9), 1204–1206. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.88B9.17954>
- Marsh, J. L., Slongo, T. F., Agel, J., Broderick, J. S., Creevey, W., DeCoster, T. A., Prokuski, L., Sirkin, M. S., Ziran, B., Henley, B., & Audigé, L. (2007). Fracture and dislocation classification compendium - 2007: Orthopaedic Trauma Association classification, database and outcomes committee. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 21(10 Suppl), S1-133. <https://doi.org/10.1097/00005131-200711101-00001>
- Marusic, U., Narici, M., Simunic, B., Pisot, R., & Ritzmann, R. (2021). Nonuniform loss of muscle strength and atrophy during bed rest: A systematic review. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 131(1), 194–206. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00363.2020>
- Masood, T., Kalliokoski, K., Bojsen-Møller, J., Magnusson, S. P., & Finni, T. (2014). Plantarflexor muscle function in healthy and chronic Achilles tendon pain subjects

evaluated by the use of EMG and PET imaging. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 29(5), 564–570. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.03.003>

McCann, R. S., Crossett, I. D., Terada, M., Kosik, K. B., Bolding, B. A., & Gribble, P. A. (2017). Hip strength and star excursion balance test deficits of patients with chronic ankle instability. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(11), 992–996. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.05.005>

McKeown, R., Ellard, D. R., Rabiou, A.-R., Karasouli, E., & Kearney, R. S. (2019). A systematic review of the measurement properties of patient reported outcome measures used for adults with an ankle fracture. *Journal of Patient-Reported Outcomes*, 3. <https://doi.org/10.1186/s41687-019-0159-5>

McKeown, R., Kearney, R. S., Liew, Z. H., & Ellard, D. R. (2020). Patient experiences of an ankle fracture and the most important factors in their recovery: A qualitative interview study. *BMJ Open*, 10(2), e033539. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-033539>

McPhail, S. M., Dunstan, J., Canning, J., & Haines, T. P. (2012). Life impact of ankle fractures: Qualitative analysis of patient and clinician experiences. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 13, 224. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-13-224>

McVey, E., Palmieri-Smith, R., Docherty, C., Zinder, S., & Ingersoll, C. (2005). Arthrogenic Muscle Inhibition in the Leg Muscles of Subjects Exhibiting Functional Ankle Instability. *Foot & Ankle International / American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society*, 26, 1055–1061. <https://doi.org/10.1177/107110070502601210>

Meinberg, E. G., Agel, J., Roberts, C. S., Karam, M. D., & Kellam, J. F. (2018). Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 32 Suppl 1, S1–S170. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001063>

Mentiplay, B. F., Perraton, L. G., Bower, K. J., Adair, B., Pua, Y.-H., Williams, G. P., McGaw, R., & Clark, R. A. (2015). Assessment of Lower Limb Muscle Strength and Power Using

Hand-Held and Fixed Dynamometry: A Reliability and Validity Study. *PLOS ONE*, 10(10), e0140822. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140822>

Molina-Rueda, F., Cuesta-Gómez, A., Carratalá-Tejada, M., Koutsou, A., Fernández-González, P., & Alguacil-Diego, I. M. (2021). Ankle muscle activation during the limits of stability test in subjects with chronic ankle instability. *Physical Therapy in Sport: Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 47, 134–139. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.11.033>

Morasso, P. G., & Sanguineti, V. (2002). Ankle muscle stiffness alone cannot stabilize balance during quiet standing. *Journal of Neurophysiology*, 88(4), 2157–2162. <https://doi.org/10.1152/jn.2002.88.4.2157>

Moseley, A. M., Beckenkamp, P. R., Haas, M., Herbert, R. D., Lin, C.-W. C., & EXACT Team. (2015). Rehabilitation After Immobilization for Ankle Fracture: The EXACT Randomized Clinical Trial. *JAMA*, 314(13), 1376–1385. <https://doi.org/10.1001/jama.2015.12180>

Myers, J. B., Riemann, B. L., Hwang, J.-H., Fu, F. H., & Lephart, S. M. (2003). Effect of peripheral afferent alteration of the lateral ankle ligaments on dynamic stability. *The American Journal of Sports Medicine*, 31(4), 498–506. <https://doi.org/10.1177/03635465030310040401>

Nilsson, G., Ageberg, E., Ekdahl, C., & Eneroth, M. (2006). Balance in Single-Limb Stance After Surgically Treated Ankle Fractures: A 14-Month Follow-Up. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 7, 35. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-7-35>

Nilsson, G., Jonsson, K., Ekdahl, C., & Eneroth, M. (2005). Unsatisfactory outcome following surgical intervention of ankle fractures. *Foot and Ankle Surgery*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2004.10.004>

Nilsson, G., Jonsson, K., Ekdahl, C., & Eneroth, M. (2007). Outcome and quality of life after surgically treated ankle fractures in patients 65 years or older. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 8, 127. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-8-127>

- Nilsson, G., Nyberg, P., Ekdahl, C., & Eneroth, M. (2003). Performance after surgical treatment of patients with ankle fractures—14-month follow-up. *Physiotherapy Research International: The Journal for Researchers and Clinicians in Physical Therapy*, 8(2), 69–82. <https://doi.org/10.1002/pri.274>
- Norris, B., & Trudelle-Jackson, E. (2011). Hip- and thigh-muscle activation during the star excursion balance test. *Journal of Sport Rehabilitation*, 20(4), 428–441.
- O’Hara, N. N., Isaac, M., Slobogean, G. P., & Klazinga, N. S. (2020). The socioeconomic impact of orthopaedic trauma: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*, 15(1), e0227907. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227907>
- Olerud, C., & Molander, H. (1984). A scoring scale for symptom evaluation after ankle fracture. *Archives of Orthopaedic and Traumatic Surgery. Archiv Fur Orthopadische Und Unfall-Chirurgie*, 103(3), 190–194. <https://doi.org/10.1007/BF00435553>
- Painter, E. E., Deyle, G. D., Allen, C., Petersen, E. J., Croy, T., & Rivera, K. P. (2015). Manual Physical Therapy Following Immobilization for Stable Ankle Fracture: A Case Series. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 45(9), 665–674. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5981>
- Parreira, R. B., Boer, M. C., Rabello, L., Costa, V. de S. P., de Oliveira, E., & da Silva, R. A. (2013). Age-related differences in center of pressure measures during one-leg stance are time dependent. *Journal of Applied Biomechanics*, 29(3), 312–316. <https://doi.org/10.1123/jab.29.3.312>
- Pau, M., Arippa, F., Leban, B., Corona, F., Ibba, G., Todde, F., & Scorcu, M. (2015). Relationship between static and dynamic balance abilities in Italian professional and youth league soccer players. *Physical Therapy in Sport: Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 16(3), 236–241. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2014.12.003>

Peterka, R. J. (2002). Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of Neurophysiology*, 88(3), 1097–1118. <https://doi.org/10.1152/jn.2002.88.3.1097>

Plisky, P. J., Gorman, P. P., Butler, R. J., Kiesel, K. B., Underwood, F. B., & Elkins, B. (2009). The reliability of an instrumented device for measuring components of the star excursion balance test. *North American Journal of Sports Physical Therapy: NAJSPT*, 4(2), 92–99.

Plisky, P. J., Rauh, M. J., Kaminski, T. W., & Underwood, F. B. (2006). Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 36(12), 911–919. <https://doi.org/10.2519/jospt.2006.2244>

Pollock, A. S., Durward, B. R., Rowe, P. J., & Paul, J. P. (2000). What is balance? *Clinical Rehabilitation*, 14(4), 402–406. <https://doi.org/10.1191/0269215500cr342oa>

Pozzi, F., Moffat, M., & Gutierrez, G. (2015). NEUROMUSCULAR CONTROL DURING PERFORMANCE OF A DYNAMIC BALANCE TASK IN SUBJECTS WITH AND WITHOUT ANKLE INSTABILITY. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(4), 520–529.

Pr, B., Cw, L., S, C., Rd, H., Hp, van der P., & Am, M. (2014). Prognosis of physical function following ankle fracture: A systematic review with meta-analysis. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 44(11), 841–851, B2. <https://doi.org/10.2519/jospt.2014.5199>

Quagliarella, L., Sasanelli, N., Notarnicola, A., Belgiovine, G., Moretti, L., & Moretti, B. (2010). Comparative functional analysis of two different achilles tendon surgical repairs. *Foot & Ankle International*, 31(4), 306–315. <https://doi.org/10.3113/FAI.2010.0306>

Regan, D. K., Gould, S., Manoli, A., & Egol, K. A. (2016). Outcomes Over a Decade After Surgery for Unstable Ankle Fracture: Functional Recovery Seen 1 Year Postoperatively Does Not Decay With Time. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 30(7), e236-241. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000571>

- Robinson, R., & Gribble, P. (2008). Kinematic Predictors of Performance on the Star Excursion Balance Test. *Journal of Sport Rehabilitation*, 17(4), 347–357. <https://doi.org/10.1123/jsr.17.4.347>
- Ruiz, P., T, M., Nader Navarro, L., Gómez Requejo, M., Revilla Villegas, C., Suárez García, J., García García, M., Balsa, P., & L, J. (2002). Rehabilitación en las fracturas de tobillo: Resultados. *Rehabilitación*, 36(05), 257–262.
- Ryu, C. H., Park, J., Kang, M., Oh, J. H., Kim, Y. K., Kim, Y. I., Lee, H. S., & Seo, S. G. (2019). Differences in lower quarter Y-balance test with player position and ankle injuries in professional baseball players. *Journal of Orthopaedic Surgery (Hong Kong)*, 27(1), 2309499019832421. <https://doi.org/10.1177/2309499019832421>
- Salas-Gómez, D., Fernández-Gorgojo, M., Sanchez-Juan, P., Bercero, E. L., Isabel Perez-Núñez, M., & Barbado, D. (2020). Quantifying balance deficit in people with ankle fracture six months after surgical intervention through the Y-Balance test. *Gait & Posture*. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.10.037>
- Sanchez-Morata, E., Martinez-Avila, J., Sánchez, E., Díaz, V., Neyra, J., Vilá, J., & Del, R. (2018). *Estudio radiológico de la relación de la fractura de maleo interno con la lesión sindesmal en fracturas de tobillo.* 26–34. <https://doi.org/10.24129/j.rpt.3201.fs1707025>
- Scholes, S., Panesar, S., Shelton, N. J., Francis, R. M., Mirza, S., Mindell, J. S., & Donaldson, L. J. (2014). Epidemiology of lifetime fracture prevalence in England: A population study of adults aged 55 years and over. *Age and Ageing*, 43(2), 234–240. <https://doi.org/10.1093/ageing/aft167>
- Seeley, D. G., Browner, W. S., Nevitt, M. C., Genant, H. K., Scott, J. C., & Cummings, S. R. (1991). Which fractures are associated with low appendicular bone mass in elderly women? The Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *Annals of Internal Medicine*, 115(11), 837–842. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-115-11-837>

- Segal, G., Elbaz, A., Parsi, A., Heller, Z., Palmanovich, E., Nyska, M., Feldbrin, Z., & Kish, B. (2014). Clinical outcomes following ankle fracture: A cross-sectional observational study. *Journal of Foot and Ankle Research*, 7. <https://doi.org/10.1186/s13047-014-0050-9>
- Shariff, S. S., & Nathwani, D. K. (2006). Lauge-Hansen classification—A literature review. *Injury*, 37(9), 888–890. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2006.05.013>
- Shibuya, N., Davis, M. L., & Jupiter, D. C. (2014). Epidemiology of Foot and Ankle Fractures in the United States: An Analysis of the National Trauma Data Bank (2007 to 2011). *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 53(5), 606–608. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2014.03.011>
- Sibley, K. M., Beauchamp, M. K., Van Ooteghem, K., Straus, S. E., & Jaglal, S. B. (2015). Using the systems framework for postural control to analyze the components of balance evaluated in standardized balance measures: A scoping review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(1), 122-132.e29. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.06.021>
- Sinkjær, T., & Arendt-Nielsen, L. (1991). Knee stability and muscle coordination in patients with anterior cruciate ligament injuries: An electromyographic approach. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 1(3), 209–217. [https://doi.org/10.1016/1050-6411\(91\)90036-5](https://doi.org/10.1016/1050-6411(91)90036-5)
- Smeeing, D. P. J., Houwert, R. M., Briet, J. P., Groenwold, R. H. H., Lansink, K. W. W., Leenen, L. P. H., van der Zwaal, P., Hoogendoorn, J. M., van Heijl, M., Verleisdonk, E. J., Segers, M. J. M., & Hietbrink, F. (2020). Weight-bearing or non-weight-bearing after surgical treatment of ankle fractures: A multicenter randomized controlled trial. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery: Official Publication of the European Trauma Society*, 46(1), 121–130. <https://doi.org/10.1007/s00068-018-1016-6>

Smeeing, D. P. J., Houwert, R. M., Briet, J. P., Kelder, J. C., Segers, M. J. M., Verleisdonk, E. J. M. M., Leenen, L. P. H., & Hietbrink, F. (2015). Weight-bearing and mobilization in the postoperative care of ankle fractures: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials and cohort studies. *PloS One*, *10*(2), e0118320. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118320>

Smith, C. A., Chimera, N. J., & Warren, M. (2015). Association of Y Balance Test Reach Asymmetry and Injury in Division I Athletes: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *47*(1), 136–141. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000380>

Somersalo, A., Paloneva, J., Kautiainen, H., Lönnroos, E., Heinänen, M., & Kiviranta, I. (2014). Incidence of fractures requiring inpatient care. *Acta Orthopaedica*, *85*(5), 525–530. <https://doi.org/10.3109/17453674.2014.908340>

Stark, T., Walker, B., Phillips, J. K., Fejer, R., & Beck, R. (2011). Hand-held dynamometry correlation with the gold standard isokinetic dynamometry: A systematic review. *PM & R: The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation*, *3*(5), 472–479. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2010.10.025>

Stevens, J. E., Walter, G. A., Okereke, E., Scarborough, M. T., Esterhai, J. L., George, S. Z., Kelley, M. J., Tillman, S. M., Gibbs, J. D., Elliott, M. A., Frimel, T. N., Gibbs, C. P., & Vandeborne, K. (2004). Muscle adaptations with immobilization and rehabilitation after ankle fracture. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *36*(10), 1695–1701. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000142407.25188.05>

Stiffler, M. R., Bell, D. R., Sanfilippo, J. L., Hetzel, S. J., Pickett, K. A., & Heiderscheid, B. C. (2017). Star Excursion Balance Test Anterior Asymmetry Is Associated With Injury Status in Division I Collegiate Athletes. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *47*(5), 339–346. <https://doi.org/10.2519/jospt.2017.6974>

Stufkens, S. A. S., van den Bekerom, M. P. J., Kerkhoffs, G. M. M. J., Hintermann, B., & van Dijk, C. N. (2011). Long-term outcome after 1822 operatively treated ankle

- fractures: A systematic review of the literature. *Injury*, 42(2), 119–127.
<https://doi.org/10.1016/j.injury.2010.04.006>
- Tantigate, D., Ho, G., Kirschenbaum, J., Bäcker, H., Asherman, B., Freibott, C., Greisberg, J. K., & Vosseller, J. T. (2019). Timing of Open Reduction and Internal Fixation of Ankle Fractures. *Foot & Ankle Specialist*, 12(5), 401–408.
<https://doi.org/10.1177/1938640018810419>
- Tejwani, N. C., McLaurin, T. M., Walsh, M., Bhadsavle, S., Koval, K. J., & Egol, K. A. (2007). Are outcomes of bimalleolar fractures poorer than those of lateral malleolar fractures with medial ligamentous injury? *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 89(7), 1438–1441. <https://doi.org/10.2106/JBJS.F.01006>
- Terada, M., Harkey, M. S., Wells, A. M., Pietrosimone, B. G., & Gribble, P. A. (2014). The influence of ankle dorsiflexion and self-reported patient outcomes on dynamic postural control in participants with chronic ankle instability. *Gait & Posture*, 40(1), 193–197.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.03.186>
- Thompson, C., Schabrun, S., Romero, R., Bialocerkowski, A., van Dieen, J., & Marshall, P. (2018). Factors Contributing to Chronic Ankle Instability: A Systematic Review and Meta-Analysis of Systematic Reviews. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(1), 189–205.
<https://doi.org/10.1007/s40279-017-0781-4>
- Thomsen, N. O. B., Olsen, L. H., & Nielsen, S. T. (2002). Kappa statistics in the assessment of observer variation: The significance of multiple observers classifying ankle fractures. *Journal of Orthopaedic Science: Official Journal of the Japanese Orthopaedic Association*, 7(2), 163–166. <https://doi.org/10.1007/s007760200028>
- Thur, C. K., Edgren, G., Jansson, K.-Å., & Wretenberg, P. (2012). Epidemiology of adult ankle fractures in Sweden between 1987 and 2004: A population-based study of 91,410 Swedish inpatients. *Acta Orthopaedica*, 83(3), 276–281.
<https://doi.org/10.3109/17453674.2012.672091>

- Tomé-Bermejo, F., Santacruz Arévalo, A., & Ruiz Micó, N. (2016). [Open reduction and internal fixation of displaced ankle fractures in patients older than 65 years of age. Analysis of results at five-year follow-up]. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología*, *60*(2), 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.recot.2015.11.005>
- Tonidandel, S., & LeBreton, J. M. (2015). RWA Web: A Free, Comprehensive, Web-Based, and User-Friendly Tool for Relative Weight Analyses. *Journal of Business and Psychology*, *30*(2), 207–216. <https://doi.org/10.1007/s10869-014-9351-z>
- Tosun, B., Selek, O., Gok, U., & Ceylan, H. (2018). Posterior Malleolus Fractures in Trimalleolar Ankle Fractures: Malleolus versus Transyndesmal Fixation. *Indian Journal of Orthopaedics*, *52*(3), 309–314. https://doi.org/10.4103/ortho.IJOrtho_308_16
- Tsai, A. C., & Chang, T.-L. (2011). The effectiveness of BMI, calf circumference and mid-arm circumference in predicting subsequent mortality risk in elderly Taiwanese. *The British Journal of Nutrition*, *105*(2), 275–281. <https://doi.org/10.1017/S0007114510003429>
- Turhan, E., Demirel, M., Daylak, A., Huri, G., Doral, M. N., & Çelik, D. (2017). Translation, cross-cultural adaptation, reliability and validity of the Turkish version of the Olerud-Molander Ankle Score (OMAS). *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, *51*(1), 60–64. <https://doi.org/10.1016/j.aott.2016.06.012>
- van der Sluis, C. K., Eisma, W. H., Groothoff, J. W., & ten Duis, H. J. (1998). Long-term physical, psychological and social consequences of a fracture of the ankle. *Injury*, *29*(4), 277–280.
- Van Deun, S., Staes, F. F., Stappaerts, K. H., Janssens, L., Levin, O., & Peers, K. K. H. (2007). Relationship of chronic ankle instability to muscle activation patterns during the transition from double-leg to single-leg stance. *The American Journal of Sports Medicine*, *35*(2), 274–281. <https://doi.org/10.1177/0363546506294470>

- Vandenborne, K., Elliott, M. A., Walter, G. A., Abdus, S., Okereke, E., Shaffer, M., Tahernia, D., & Esterhai, J. L. (1998). Longitudinal study of skeletal muscle adaptations during immobilization and rehabilitation. *Muscle & Nerve*, 21(8), 1006–1012. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-4598\(199808\)21:8<1006::aid-mus4>3.0.co;2-c](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-4598(199808)21:8<1006::aid-mus4>3.0.co;2-c)
- Vilá y Rico, J., Jiménez Díaz, V., Bravo Giménez, B., Mellado Romero, M. Á., & Ojeda Thies, C. (2016). Results of Arthroscopic Subtalar Arthrodesis for Adult-Acquired Flatfoot Deformity vs Posttraumatic Arthritis. *Foot & Ankle International*, 37(2), 198–204. <https://doi.org/10.1177/1071100715604237>
- Wang, C., Chen, S., Qiao, M., Xu, Y., & Zhao, J. (2016). Assessment of Balance Disorders in Patients after Ankle Fractures. *Journal of Nursing*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.18686/jn.v5i1.74>
- Ward, S., Pearce, A. J., Pietrosimone, B., Bennell, K., Clark, R., & Bryant, A. L. (2015). Neuromuscular deficits after peripheral joint injury: A neurophysiological hypothesis. *Muscle & Nerve*, 51(3), 327–332. <https://doi.org/10.1002/mus.24463>
- Webster, K. A., & Gribble, P. A. (2013). A comparison of electromyography of gluteus medius and maximus in subjects with and without chronic ankle instability during two functional exercises. *Physical Therapy in Sport: Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 14(1), 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2012.02.002>
- Webster, K. A., Pietrosimone, B. G., & Gribble, P. A. (2016). Muscle Activation During Landing Before and After Fatigue in Individuals With or Without Chronic Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*, 51(8), 629–636. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.10.01>
- Wikstrom, E. A., Naik, S., Lodha, N., & Cauraugh, J. H. (2010). Bilateral balance impairments after lateral ankle trauma: A systematic review and meta-analysis. *Gait & Posture*, 31(4), 407–414. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.02.004>

Winter, D. A., Patla, A. E., & Frank, J. S. (1990). Assessment of balance control in humans. *Medical Progress Through Technology*, 16(1–2), 31–51.

Zhang, L., Lu, J., Cai, B., Fan, S., & Jiang, X. (2020). Quantitative assessments of static and dynamic balance performance in patients with chronic ankle instability. *Medicine*, 99(17). <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000019775>

Ziegler, P., Schlemer, D., Flesch, I., Bahrs, S., Stoeckle, U., Werner, S., & Bahrs, C. (2017). Quality of life and clinical-radiological long-term results after implant-associated infections in patients with ankle fracture: A retrospective matched-pair study. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 12(1), 114. <https://doi.org/10.1186/s13018-017-0608-x>



ANEXOS

Resumen de la clasificación de las fracturas según OA-OTA

44 fracturas del segmento maleolar

- **Tipos**

1. 44A

Fracturas infrasindesmales

La localización de la fractura se sitúa por debajo de la sindesmosis en el peroné. El mecanismo lesional en estas fracturas suele ser la inversión forzada del tobillo. A su vez se dividen en tres grupos y cada grupo se subdivide en tres subgrupos:

- **Grupos**
- **44A1 Lesión del peroné aislada**

Subgrupos

- 44A1.1 Ruptura del ligamento colateral lateral
- 44A1.2 Avulsión de la punta del maléolo lateral
- 44A1.3 Fractura transversal del maléolo lateral

- **44A2 Lesión del peroné con fractura del maléolo medial o tibial**

Subgrupos

- 44A2.1 Ruptura del ligamento colateral lateral
- 44A2.2 Avulsión de la punta del maléolo lateral
- 44A2.3 Fractura transversal del maléolo lateral

- **44A3 Lesión del peroné con fractura posteromedial**

Subgrupos

- 44A3.1 Ruptura del ligamento colateral lateral con fractura posteromedial
- 44A3.2 Avulsión de la punta del maléolo lateral con fractura posteromedial

- 44A3.3 Fractura transversal del maléolo lateral con fractura posteromedial

2. 44B

Fracturas transindesmales

La localización de estas fracturas se sitúa e nivel de la sindesmosis en el peroné. El mecanismo lesional suele ser la rotación externa con eversión. A su vez se dividen en tres grupos y cada grupo se subdivide en tres subgrupos:

- **Grupos**
- **44B1 Fractura transindesmal del peroné**

Subgrupos

- 44B1.1 Simple
- 44B1.2 Con ruptura de la sindesmosis anterior
- 44B1.3 Peroné multifragmentado

- **44B2 Fractura transindesmal del peroné con lesión medial**

Subgrupos

- 44B2.1 Con ruptura del ligamento deltoideo y de la sindesmosis anterior
- 44B2.2 Con fractura del maléolo medial y ruptura de la sindesmosis anterior
- 44B2.3 fractura del peroné multifragmentada con lesión medial

- **44B3 Fractura transindesmal del peroné, con lesión medial y fractura del reborde posterolateral (fractura de Volkmann)**

Subgrupos

- 44B3.1 Simple con ruptura del ligamento deltoideo
- 44B3.2 Simple con fractura del maléolo medial
- 44B3.3 fractura de peroné multifragmentada con fractura del maléolo medial

3. 44C

Fracturas suprasindesmales

- **Grupos**
- **44C1 Fractura simple de la diáfisis del peroné**

Subgrupos

- 44C1.1 Con ruptura del ligamento deltoideo
 - 44C1.2 Con una fractura del maléolo medial
 - 44C1.3 Con una fractura del maléolo medial y posterior
- **44C2 Fractura del peroné en cuña o multifragmentario**

Subgrupos

- 44C2.1 Con ruptura del ligamento deltoideo
 - 44C2.2 Con una fractura del maléolo medial
 - 44C2.3 Con una fractura del maléolo medial y posterior
- **44C3 Lesión proximal del peroné**

Subgrupos

- 44C3.1 Con una lesión del lado medial
- 44C3.2 Con acortamiento y una lesión del lado medial
- 44C3.3 Con una lesión del lado medial y una fractura del maléolo posterior



COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN
CLÍNICA DE CANTABRIA
IDIVAL



T. CONCEPCION SOLANAS GUERRERO, Secretario/a del **COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA DE CANTABRIA**

CERTIFICA

Que este Comité ha evaluado la propuesta del Investigador Principal del estudio:

TÍTULO: Valoración funcional del sistema aquileo-calcáneo-plantar en pacientes postcirugía de tobillo.

TIPO DE ESTUDIO: Proyecto de Investigación (Código interno: 2017.072)

y considera que:

- Se cumplen los requisitos necesarios de idoneidad del protocolo en relación con los objetivos del estudio y están justificados los riesgos y molestias previsibles para el sujeto, teniendo en cuenta los beneficios esperados.
- Es adecuado el procedimiento para obtener el consentimiento informado.
- La capacidad del investigador y sus colaboradores, y las instalaciones y medios disponibles, tal y como ha sido informado, son apropiados para llevar a cabo el estudio.

Este CEIC, emite un informe **FAVORABLE** para que dicho Estudio sea realizado en el **UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**, actuando como investigadores principales el Dña. **DIANA SALAS GÓMEZ** y **D. MARIO FERNÁNDEZ GORGOJO**.

Como queda reflejado en el Acta: **8/2017**.

Lo que firmo en Santander, a **12 de mayo de 2017**


T. CONCEPCION SOLANAS GUERRERO
Secretario/a del CEIC

HOJA DE INFORMACIÓN AL/A LA PARTICIPANTE

Nombre del/de la candidato/a a participante en el estudio:

.....

TÍTULO DEL ESTUDIO: Valoración funcional en pacientes postcirugía de tobillo.

INVESTIGADOR PRINCIPAL: Diana Salas Gómez y Mario Fernández Gorgojo. Servicio Universitario de Investigación Gimbernat-Cantabria (SUIGC). Universidad de Fisioterapia Gimbernat-Cantabria. Torrelavega.

RESTO DE INVESTIGADORES: Francisco David Barbado Murillo. Laboratorio de biomecánica y Salud de la Universidad Miguel Hernández (UMH). Elche; Pascual Sánchez-Juan. Unidad de deterioro cognitivo HUMV. Santander; M^a Isabel Pérez Núñez. Unidad de Traumatología. Hospital Universitario Marqués de Valdecilla (HUMV). Santander; Esther Laguna. Unidad de Traumatología. Hospital Universitario Marqués de Valdecilla (HUMV).

CENTRO: Escuela Universitaria de Fisioterapia Gimbernat- Cantabria/ HUMV.

Duración del estudio: 2017-2018

Diseño: Estudio Longitudinal

Objetivos: Evaluación de los parámetros funcionales de la marcha y el equilibrio tras una intervención quirúrgica de fractura de tobillo en diferentes fases de la rehabilitación.

- Mediante la utilización de un sensor colocado en la zona lumbar registraremos parámetros de la marcha como longitud de paso, velocidad, cadencia y diferencias entre las dos extremidades.
- Evaluaremos el equilibrio en diferentes posiciones mediante el uso de una plataforma de presiones. Así mismo, también realizaremos una evaluación de la pisada tanto en posición estática como durante la marcha.
- Todas las tareas estarán sincronizadas con un electromiógrafo de superficie (no invasivo) que registrara la actividad muscular durante las diferentes tareas.
- Analizaremos que características recogidas durante la evaluación biomecánica y clínica están relacionadas con un menor tiempo de recuperación en la funcionalidad del tobillo.

Este estudio pretende valorar la evolución de la recuperación funcional después de la intervención quirúrgica. Para ello se realizará una medición inicial a los 6 meses y una final a los 12 meses.

Metodología:

- Fase 1: Fase de reclutamiento: Unidad de Traumatología del HUMV (pacientes intervenidos quirúrgicamente de fracturas de tobillo), se recogerán datos sobre:
 - Antecedentes personales: fumador, corticoides, diabetes, arteriopatía periférica.
 - Lesiones esqueléticas asociadas en cada grupo.
 - Días desde el accidente hasta la cirugía definitiva.
 - Tiempo de descarga desde la intervención quirúrgica.
 - Tipo de cirugía.
 - Tiempo de rehabilitación.
 - Tiempo de incorporación a su actividad previa.
 - Incapacidad laboral.
 - Complicaciones a corto y largo plazo.
 - Tiempo de consolidación o curación de la lesión.
 - Desalineación articular del tobillo (valgo / varo).
 - Cuestionario de funcionalidad de la Extremidad inferior *American Orthopedic Foot and Ankle Society hind foot score* (AOFAS) y el cuestionario *Olerud-Molander Ankle Score* (OMAS) (recogido por Mario Fernández y Diana Salas) a los 6 y 12 meses de la fractura.
 - Estudio radiológico en carga tobillo afecto y contralateral a los 6 meses y a los 12 meses postcirugía (ángulo talo-crural y ángulo tibio-astragalino), medidos por dos observadores.

Una vez cotejados los datos, informarán y solicitarán la colaboración vía telefónica a aquellos sujetos que cumplan con los criterios de admisión establecidos.

Una vez informados del proyecto los participantes firmarán la hoja de consentimiento y se les convocará para la recogida de datos.

- Fase 2: Recogida de datos: (1 año) Escuelas Universitarias Gimbernat-Cantabria
En una primera visita (6 meses desde la IQ) se realizarán una serie de pruebas en el siguiente orden:

- Se administrarán los cuestionarios de funcionalidad de la Extremidad inferior *American Orthopedic Foot and Ankle Society Ankle-hindfoot score* (AOFAS) y el cuestionario *Olerud- Molander Ankle Score* (OMAS).
- Colocación de los electrodos para el registro de la actividad muscular durante las diferentes tareas de evaluación.
- Medición del perímetro del tobillo y pierna
- Movimiento tobillo
- Medición de la fuerza de la musculatura de la cadera
- Evaluación de los parámetros de la marcha y el equilibrio
- Estudio de la pisada en posición estática y durante la marcha

Participación en el estudio

Su participación en este estudio es totalmente voluntaria y si durante el transcurso del estudio usted decide retirarse, puede hacerlo libremente en el momento en que lo considere oportuno, sin ninguna necesidad de dar explicaciones y sin que por este hecho deba verse alterada su relación con el/la investigador/a principal, los/las investigadores/as colaboradores/as, los/las monitores/as o el patrocinador del estudio.

Beneficios de la participación en el estudio

Con su participación se espera contribuir al conocimiento científico mediante la recogida de información posterior a la intervención quirúrgica de tobillo.

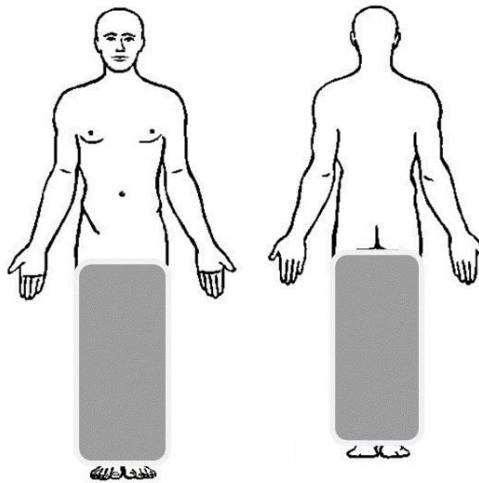
De manera añadida a todos participantes se les facilitará un informe completo al finalizar el estudio consistente en:

- Una valoración funcional del equilibrio y la marcha con datos obtenidos en las dos mediciones.
- Recomendaciones personalizadas para una rehabilitación satisfactoria realizada por fisioterapeutas de la universidad.

Requerimientos en la participación

Con tal de que se puedan realizar las mediciones de la actividad muscular mediante el electromiógrafo, los electrodos deberán ir pegados en la piel. Para que se capte la señal de forma correcta y no haya interferencias, el participante deberá tener la piel de las piernas libre de vello.

Por ello, la persona tendrá que traer las piernas rasuradas. El siguiente esquema muestra las zonas que deben estar rasuradas.



Confidencialidad de los datos

Los resultados de las diversas pruebas realizadas, así como toda la documentación referente a su persona son absolutamente confidenciales y únicamente estarán a disposición del/de la investigador/a principal, los/las colaboradores/as, la dirección de la E.U. Gimbernat (en calidad de promotor) y el Servicio Universitario de Investigación Gimbernat-Cantabria (SUIGC), y las autoridades sanitarias competentes, si es el caso.

Todas las medidas de seguridad necesarias para que los/las participantes en el estudio no sean identificados y las medidas de confidencialidad en todos los casos serán completas, de acuerdo con la Ley Orgánica sobre protección de datos de carácter personal (Ley 15/1999 de 13 de diciembre).

Publicación de los resultados

El promotor del estudio reconoce la importancia y trascendencia del estudio y, por tanto, está dispuesto a publicar los resultados en una revista, publicación o reunión científica a determinar en el momento oportuno y de común acuerdo con los investigadores. Si usted lo desea, el investigador responsable del estudio podrá informarle de los resultados, así como de cualquier otro dato relevante que se conozca durante el estudio.

Revocación del consentimiento

La participación suya en este estudio es voluntaria. Usted puede decidir no participar o retirarse del estudio en cualquier momento. La decisión suya no resultará en ninguna penalidad o pérdida de beneficios para los cuales tenga derecho. De ser necesario, su participación en este estudio puede ser detenida en cualquier momento por el investigador del estudio sin su consentimiento.

Los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición puede ejercitarlos ante el SUIGC a la siguiente dirección de correo electrónico:XXX

Investigador/a responsable del estudio

El Sr. /a....., en calidad de investigador/a responsable del estudio o, en su caso un/a investigador/a colaborador/a designa/da directamente por él/ella, es la persona que le ha informado sobre los diferentes aspectos del estudio. Si usted desea formular cualquier pregunta sobre lo que se le ha expuesto o si desea alguna aclaración de cualquier duda, puede manifestárselo en cualquier momento.

Si usted decide participar en este estudio, debe hacerlo otorgando su consentimiento con total libertad.

Los promotores del estudio y el/la investigador/a principal le agradecen su inestimable colaboración.

Firmado:

Nombre y apellidos del/de la participante:

D.N.I.:

Edad:

Fecha:

HOJA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo,, con D.N.I. nº, me declaro mayor de 18 años y declaro que he sido informado/a de manera amplia y satisfactoria, de manera oral y he leído el documento llamado “Hoja de información al participante”, he entendido y estoy de acuerdo con las explicaciones del procedimiento, y que esta información ha sido realizada.

He tenido la oportunidad de hacer todas las preguntas que he deseado sobre el estudio.

He hablado de ello con: (Nombre del/de la investigador/a que ha dado la información)

.....

Comprendo que mi participación es en todo momento voluntaria.

Comprendo que puedo retirarme del estudio:

1º En el momento en que así lo quiera,

2º Sin tener que dar ninguna explicación, y

3º Sin que este hecho tenga que repercutir en mi relación con los/las investigadores/as ni promotores del estudio

Así, pues, presto libremente mi conformidad para participar en este estudio.

Nombre, apellidos y firma del/de la participante:

D.N.I.:

Edad:

Fecha:

Firma del/de la investigador/a principal:

Investigador/a principal:

Fecha:

HOJA DE RECOGIDA DE DATOS

FECHA:

SUJETO: (APELLIDOS Y NOMBRE):

CÓDIGO:

DOMINANCIA

EXTREMIDAD INFERIOR	Derecha	Izquierda
---------------------	---------	-----------

LATERALIDAD
OPERADA

EXTREMIDAD INFERIOR	Derecha	Izquierda
---------------------	---------	-----------

ANTROPOMETRÍA	
Edad	
Género	
Peso	
Altura	
Longitud extremidad operada*	
Longitud extremidad no operada	
Perímetro de la pantorrilla operada: 20 cm por encima del maleolo	
Perímetro de la pantorrilla no operada: 20 cm por encima del maleolo	
Perímetro bimalleolar operada:	
Perímetro bimalleolar no operada:	

***Longitud de la extremidad inferior (para la normalización del Y-Balance test): desde la espina iliaca anterosuperior hasta la porción más distal distal del maléolo medial.**

RANGO DE MOVIMIENTO DE LA FLEXION DORSAL DE TOBILLO			
	(°)		
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Weight Bearing Lunge" (WBL) con la rodilla flexionada. Tobillo operado			
Weight Bearing Lunge" (WBL) con la rodilla flexionada. Tobillo no operado			

FUERZA DE LA MUSCULATURA DE LA CADERA				
(KG)				
	(PROGRESIVO) CALENTAMIENTO	Ensayo 1 (100%)	Ensayo 2 (100%)	Ensayo 3 (100%)

Abducción de la extremidad operada				
Aducción de la extremidad operada				
Abducción de la extremidad no operada				
Aducción de la extremidad no operada				

EQUILIBRIO ESTÁTICO ESTABILOMETRIA			
30'' registro/ 30'' descanso			
2 ensayos			
	Distancia recorrida por el centro de presiones (mm)	Velocidad de movimiento del centro de presiones (mm/s)	Ratio longitud/superficie LFS
Apoyo unipodal (extremidad no operada) ojos abiertos			
Ensayo 2			
Apoyo unipodal (extremidad operada) ojos abiertos			
Ensayo 2			
Apoyo unipodal (extremidad no operada) ojos cerrados			
Ensayo 2			
Apoyo unipodal (extremidad operada) ojos cerrados			
Ensayo 2			
Tándem (extremidad no operada) detrás			
Ensayo 2			
Tándem (pierna intervenida) detrás			
Ensayo 2			

EQUILIBRIO DINÁMICO Y- BALANCE TEST (CM)		
	Ensayo 1	Ensayo 2
Extremidad no operada en dirección anterior		
Extremidad operada en dirección anterior		
Extremidad no operada en dirección posteromedial		
Extremidad operada en dirección posteromedial		
Extremidad no operada en dirección posterolateral		
Extremidad operada en dirección posterolateral		
Composite score de la extremidad no operada*		
Composite score de la extremidad operada		

- **La dirección compuesta es calculada como la suma de las tres medidas de alcance en las tres direcciones dividido por 3 veces la longitud de la pierna y multiplicado por 100.**

CUESTIONARIOS SOBRE LA FUNCIONALIDAD DEL TOBILLO (Puntos)	
Puntuación AOFAS	/100
Puntuación OMAS	/100

AOFAS_{AH}: American Orthopaedic Foot and Ankle Society, Ankle-Hindfoot score

DOLOR	40 puntos
Ausente	40
Leve - Ocasional	30
Moderado - Diario	20
Severo - Siempre presente	0
FUNCION	50 puntos
A- ACTIVIDAD	
Sin limitación	10
Sin limitación de la actividad de la vida diaria. Limitación deportiva.	7
Limitación en actividades de la vida diaria y deportes. Bastón.	4
Severa limitación. Muletas - Andador - Silla de ruedas - Ortesis.	0
B- DISTANCIA MAXIMA CAMINADA (CUADRAS)	
Más de 6.	5
4 - 6.	4
1- 3.	2
Menos de 1.	0
C- SUPERFICIE DE MARCHA	
Cualquiera	5
Algunas dificultades en terreno desparejo, escaleras, plano inclinado.	3
Severa dificultad.	0
D- ANORMALIDAD DEL PASO	
Ninguna.	8
Notable .	4
Marcada.	0
E- MOVILIDAD SAGITAL	
Normal (30° o más).	8
Moderada restricción (15 - 29°).	4
Severa restricción (menos de 15°).	0
F- MOVILIDAD DEL RETROPIE (INVERSION - EVERSION)	
Normal (75 - 100 %).	6
Moderada restricción (25 - 74 %).	3
Severa restricción (menor del 25 %).	0
G- ESTABILIDAD DEL TOBILLO	
Estable.	8
Inestable.	0
ALINEACION	10 puntos
Buena. Pie plantígrado. Pie y retropié bien alineados.	10
Regular. Pie plantígrado. Algunos grados de desalineación. Sin síntomas.	5
Mala. Pie no plantígrado. Severa desalineación. Sintomático.	0
TOTAL	100

OMAS: Olerud Molander Ankle Score

PARÁMETROS	GRADOS	PUNTUACIÓN
1 Dolor	Ninguno	25
	Mientras camina sobre una superficie irregular	20
		10
	Mientras camina sobre una superficie uniforme al aire libre	5
	Mientras camina en el interior	0
	Constante y severo	10
2 Rigidez	No	0
	Rigidez	10
3 Inflamación	No	5
	Sólo noches	0
	Constante	10
4 Subir escaleras		5
	No hay problemas	0
	Afectado	0
5 Corriendo	Imposible	5
		0
	Posible	5
6 Saltos	Imposible	0
		5
7 En cuclillas	No hay problemas	0
	Imposible	10
8 Soportes o ayudas técnicas		5
	Ninguna	0
	vendaje, tobillera bastón o muleta	20
9 Trabajo, actividades de la vida diaria		15
	Igual que antes de la lesión	10
	Con dificultad/ más lento	10
	Cambio a un trabajo más simple / a tiempo parcial Capacidad de trabajo muy dañada	0
PUNTUACIÓN TOTAL		/100

ANEXO V

Equilibrio estático en las valoraciones a los 6 y 12 meses después de la cirugía en personas tras una fractura bimalleolar de tobillo

UNIPODAL OA		Operada Media (LI-LS)	No operada Media (LI-LS)	Pierna F(p)	Effect size
COP	6 meses	732.81 (596.08-869.54)	630.69 (519.70-742.13)	0.322 (0.577)	-0.33 (-0.716; -0.003)*
	12 meses	669.56 (560.29-778.83)	732.73 (606.33-859.14)		
DISTANCIA (mm)	Tiempo F(p)	1.599 (0.221)		Interacción	
	Effect size	0.14 (-0.179; 0.489)	-0.43 (-0.759; -0.161)*	8.516 (0.009)	
V(mm/s)	6 meses	32.0 (18.0-47.0)	21.0 (8.0-35.0)	0.995 (0.331)	0.33 (-0.216; 0.983)
	12 meses	22.0 (19.0-26.0)	24.0 (11.0-38.0)		
	Tiempo F(p)	0.545 (0.470)		Interacción	
	Effect size	0.24 (-0.232; 0.892)	-0.38 (-0.734; -0.115)*	2.528 (0.128)	
LFS	6 meses	1.59 (1.22-1.96)	1.75 (1.40-1.10)	0.073 (0.790)	-0.231 (-0.876; 0.396)
	12 meses	1.60 (1.19-2.03)	1.52 (1.21-1.83)		
	Tiempo F(p)	1.257 (0.276)		Interacción	
	Effect size	-0.020 (-0.542; 0.502)	0.314 (-0.028; 0.694)	1.037 (0.321)	

UNIPODAL OC		Operada	No operada	Pierna	Effect size
COP	6 meses	1354.84 (1044.03-1665.65)	1377.24 (1141.73-1632.74)	1.197 (0.292)	-0.047 (-0.439; 0.338)
	12 meses	1366.99 (1106.98-1627.01)	1488.14 (1184.18-1792.09)		
DISTANCIA (mm)	Tiempo F(p)	0.259 (0.619)		Interacción	
	Effect size	-0.005 (-0.291; 0.279)	-0.142 (-0.609; 0.300)	0.491 (0.495)	
V (mm/s)	6 meses	45.0 (34.0-55.0)	48.0 (41.0-55.0)	1.339 (0.266)	-0.158 (-0.612; 0.259)
	12 meses	47.0 (38.0-55.0)	50.0 (39.0-60.0)		
	Tiempo F(p)	0.367 (0.554)		Interacción	
	Effect size	-0.032 (-0.321; 0.251)	-0.141 (-0.609; 0.300)	0.335 (0.572)	
LFS	6 meses	0.87 (0.61-1.12)	0.77 (0.50-1.03)	2.139 (0.166)	0.251 (-0.322; 0.854)
	12 meses	0.81 (0.60-1.02)	0.68 (0.43-0.93)		
	Tiempo F(p)	0.006 (0.941)		Interacción	
	Effect size	-0.177 (-0.817; 0.450)	0.269 (-0.203; 0.784)	1.371 (0.261)	

COP: centro de presiones; OA: ojos abiertos; OC: ojos cerrados; V: velocidad; LFS: longitud/superficie; ANOVAs de medidas repetidas de dos vías, siendo la pierna (operada vs no operada) y el tiempo (6 y 12 meses) los factores intragrupos. Los efectos principales de los ANOVAs (pierna, tiempo) y las interacciones son presentadas como F score (p). Los datos descriptivos se presentan como media (Intervalo de confianza al 95%). Los tamaños de los efectos se calcularon utilizando el índice Hedges' g y se presentan como media (intervalo de confianza al 95%); * p<0.05

Equilibrio estático en las valoraciones a los 6 y 12 meses después de la cirugía en personas tras una fractura bimalleolar de tobillo (continuación)

TÁNDEM		Operada	No operada	Pierna	Effect size
COP	6 meses	749.855 (586.02; 913.69)	557.56 (414.85; 700.26)	2.730 (0.115)	-0.56 (-0.129; -1.030)*
DISTANCIA (mm)	12 meses	675.785 (540.47; 811.10)	699.32 (553.91; 844.72)		
	<i>Tiempo F(p)</i>	0.309 (0.585)			
	<i>Effect size</i>	0.220 (-0.222; 0.678)	-0.442 (-0.948; 0.039)		6.939 (0.016)
V (mm/s)	6 meses	33.0 (14.0-54.0)	19.0 (14.0-22.0)	4.066 (0.580)	-0.660 (-1.339; -0.038)*
	12 meses	23.0 (18.0; 27.0)	23.0 (18.0; 28.0)		
	<i>Tiempo F(p)</i>	0.665 (0.425)			
	<i>Effect size</i>	0.49 (-0.13; 1.14)	-0.442 (-0.949; 0.038)		4.991 (0.038)
LFS	6 meses	1.270 (1.04; 1.50)	1.290 (0.89; 1.69)	0.084 (0.775)	-0.027 (-0.578; 0.521)
	12 meses	1.150 (0.85; 1.45)	1.190 (0.85; 1.53)		
	<i>Tiempo F(p)</i>	0.741 (0.400)			
	<i>Effect size</i>	0.201 (-0.347; 0.763)	0.121 (-0.394; 0.642)		0.005 (0.942)

COP: centro de presiones; OA: ojos abiertos; OC: ojos cerrados; V: velocidad; LFS: longitud/superficie; ANOVAs de medidas repetidas de dos vías. siendo la pierna (operada vs no operada) y el tiempo (6 y 12 meses) los factores intragrupos. Los efectos principales de los ANOVAs (pierna. tiempo) y las interacciones son presentadas como F score (p). Los datos descriptivos se presentan como media (Intervalo de confianza al 95%). Los tamaños de los efectos se calcularon utilizando el índice Hedges' g y se presentan como media (intervalo de confianza al 95%); * p<0.05

Equilibrio estático en las valoraciones a los 6 y 12 meses después de la cirugía en personas tras una fractura bimalleolar de tobillo respecto al grupo control

PRUEBA	Operada Media (LI-LS)	No operada Media (LI-LS)	Factor	6 meses F(p)	12 meses F(p)
UNIPODAL OA					
COP DISTANCIA (mm)			Pierna	2.004 (0.168)	0.494 (0.488)
Fractura postcirugía (6 meses)	733.81 (596.08-869.54)	630.69 (519.70-742.13)	Grupo	1.347 (0.255)	2.109 (0.158)
Fractura postcirugía (12meses)	680.56 (560.29-778.83)	762.73 (606.33-859.14)	Interacción	1.285 (0.266)	1.016 (0.322)
Grupo control	571.74 (373.83-770.11)	560.69 (399.52-721.86)			
Efect size (6 meses)	0.51 (-0.24; 1.29)	0.27 (-0.48; 1.04)			
Efect size (12 meses)	0.40 (-0.36; 1.72)	0.60 (-0.16; 1.40)			
VELOCIDAD (mm/s)			Pierna	0.074 (0.788)	2.256 (0.144)
Fractura postcirugía (6 meses)	24.4 (19.3-29.7)	21.0 (8.0-35.0)	Grupo	0.36 (0.852)	0.079 (0.781)
Fractura postcirugía (12meses)	23.0 (19.0-26.0)	25.4 (11.0-38.0)	Interacción	2.526 (0.123)	1.285 (0.267)
Grupo control	18.5 (-4.0-39.0)	17.6 (13.2-22.1)			
Efect size (6 meses)	0.44 (-0.32; 1.21)	-0.46(-0.29;1.23)			
Efect size (12 meses)	0.61 (-0.15; 1.40)	-0.23 (-1.03; 0.49)			
LFS			Pierna	0.090 (0.766)	0.802 (0.378)
Fractura postcirugía (6 meses)	1.59 (1.22-1.96)	1.75 (1.40-1.10)	Grupo	4.059 (0.053)	6.286 (0.018)
Fractura postcirugía (12meses)	1.60 (1.19-2.03)	1.52 (1.21-1.83)	Interacción	1.418 (0.243)	0.233 (0.633)
Grupo control	2.31 (1.77-2.84)	2.03 (1.53-2.54)			
Efect size (6 meses)	-0.8 (-1.65; -0.08)*	-0.36 (-1.11; 0.41)			
Efect size (12 meses)	-0.74 (-1.54; 0.03)	-0.73 (-1.52; 0.04)			
UNIPODAL OC					
COP DISTANCIA (mm)			Pierna	0.149 (0.703)	0.007 (0.935)
Fractura postcirugía (6 meses)	1354.84 (1044.03-1665.65)	1387.24 (1141.73-1632.74)	Grupo	2.155 (0.156)	2.658 (0.117)
Fractura postcirugía (12meses)	1377.22(1106.98-1627.01)	1488.14 (1184.18-1792.09)	Interacción	0.507 (0.484)	2.542 (0.124)
Grupo control	1106.11 (653.03-1559.19)	996.89 (639.00-1354.77)			
Efect size (6 meses)	0.39 (-0.45; 1.25)	0.77 (-0.08; 1.66)			
Efect size (12 meses)	0.49 (-0.35; 1.35)	0.78 (-0.07; 1.67)			
VELOCIDAD (mm/s)			Pierna	0.630 (0.435)	1.432 (0.244)
Fractura postcirugía (6 meses)	45.0 (34.0-55.0)	48.0 (41.0-55.0)	Grupo	2.388 (0.136)	2.714 (0.113)
Fractura postcirugía (12meses)	47.0 (38.0-55.0)	50.0 (39.0-60.0)	Interacción	3.253 (0.084)	5.060 (0.034)
Grupo control	41.0 (25.0-56.0)	31.0 (21.0-32.0)			
Efect size (6 meses)	0.19 (-0.65; 1.03)	-1.14 (-2.08; -0.27)*			
Efect size (12 meses)	0.37 (-0.47; 1.22)	-0.87 (-1.77; -0.01)*			
LFS			Pierna	2.248 (0.130)	4.140 (0.054)
Fractura postcirugía (6 meses)	0.87 (0.61-1.12)	0.77 (0.50-1.03)	Grupo	10.715 (0.003)	16.015 (0.001)
Fractura postcirugía (12meses)	0.81 (0.60-1.02)	0.68 (0.43-0.93)	Interacción	6.364 (0.019)	14.860 (0.001)
Grupo control	1.28 (0.91-1.65)	1.69 (1.31-2.08)			
Efect size (6 meses)	-0.78 (-1.67; 0.08)	-1.71 (-2.74; -0.77)*			
Efect size (12 meses)	-1.08 (-2.00; -0.20)*	-1.95 (-3.03; -0.98)*			

OA: ojos abiertos; OC: ojos cerrados; COP: centro de presiones; LOS: distancia/superficie; LI: Límite inferior de intervalo de confianza al 95%; LS: Límite superior del intervalo de confianza al 95%. * $p < 0.05$; ANOVAs de medidas repetidas de dos vías, siendo Pierna (Operada vs No operada) el factor intragrupo y Grupo (Fractura postcirugía vs. control) el factor intergrupo. Los ANOVAs fueron realizados a los 6 y a 12 meses respectivamente. Los efectos principales del ANOVA (Pierna, Grupo) y las interacciones son presentadas como F score (p). Los datos descriptivos se presentan como media (Intervalo de confianza al 95%). Los tamaños de los efectos se calcularon utilizando el índice Hedges' g y se presentan como media (intervalo de confianza del 95%).

Equilibrio estático en las valoraciones a los 6 y 12 meses tras la cirugía de los pacientes con fractura bimalleolar de tobillo respecto al grupo control(continuación)

TANDEM					
COP DISTANCIA (mm)			Pierna	2.980 (0.095)	0.258 (0.615)
Fractura postcirugía (6 meses)	799.21 (627.51-943.93)	570.56 (429.01-664.44)	Grupo	1.949 (0.173)	3.020 (0.093)
Fractura postcirugía (12meses)	675.79 (550.71-800.86)	699.32 (575.92-822.71)	Interacción	4.714 (0.038)	0.001 (0.973)
Grupo control	519.32 (313.15-725.48)	546.26 (383.61-708.90)			
Efect size (6 meses)	-0.77 (-1.54; -0.02)*	0.002 (-0.73; 0.73)			
Efect size (12 meses)	0.56 (-0.18; 1.32)	0.55 (-0.18; 1.31)			
VELOCIDAD (mm/s)			Pierna	2.206 (0.118)	1.341 (0.256)
Fractura postcirugía (6 meses)	26.6 (21.9-31.5)	19.0 (14.0-22.0)	Grupo	4.130 (0.052)	0.182 (0.673)
Fractura postcirugía (12meses)	22.4 (17.6-27.2)	22.3 (19.0-28.0)	Interacción	5.730 (0.024)	1.599 (0.216)
Grupo control	15.6 (12.2-19.0)	17.0 (12.0-23.0)			
Efect size (6 meses)	-0.76 (-1.53; -0.22)*	0.08 (-0.65; 0.81)			
Efect size (12 meses)	-0.31 (-1.05; 0.43)	0.62 (-0.12; 1.38)			
LFS			Pierna	0.000 (0.992)	0.000 (0.988)
Fractura postcirugía (6 meses)	1.28 (0.98-1.58)	1.31 (0.97-1.66)	Grupo	0.017 (0.898)	0.399 (0.532)
Fractura postcirugía (12meses)	1.15 (0.80-1.50)	1.19 (0.87-1.21)	Interacción	0.058 (0.812)	0.108 (0.745)
Grupo control	1.51 (0.93-1.76)	1.35 (0.83-1.79)			
Efect size (6 meses)	-0.10 (-0.82; 0.63)	0.006 (-0.72; 0.73)			
Efect size (12 meses)	-0.25 (-0.99; 0.49)	-0.17 (-0.90; 0.56)			

OA: ojos abiertos; OC: ojos cerrados; COP: centro de presiones; LOS: distancia/superficie; LI: Límite inferior de intervalo de confianza al 95%; LS: Límite superior del intervalo de confianza al 95%. * $p < 0.05$; ANOVAs de medidas repetidas de dos vías, siendo Pierna (Operada vs No operada) el factor intragrupo y Grupo (fractura vs. control) el factor intergrupo. Los ANOVAs fueron realizados a los 6 y a 12 meses respectivamente. Los efectos principales del ANOVA (Pierna, Grupo) y las interacciones son presentadas como F score (p). Los datos descriptivos se presentan como media (Intervalo de confianza al 95%). Los tamaños de los efectos se calcularon utilizando el índice Hedges' g y se presentan como media (intervalo de confianza del 95%).

Equilibrio dinámico (Y-Balance Test) en las evaluaciones de 6 y 12 meses en personas tras una fractura bimalleolar de tobillo después de la cirugía

YBT- DIRECCIÓN		Operada Media (LI-LS)	No operada Media (LI-LS)	Pierna F(p)	Effect size
Anterior	6 meses	56.42 (50.35; 62.50)	65.77 (60.18; 71.37)	26.303 (<0.001)	-0.70 (-1.10; -0.40)*
	12 meses	61.34 (56.74; 66.21)	66.92 (63.12; 70.73)		-0.53 (-0.93; -0.22)*
	Tiempo F(p)	6.334 (0.020)		Interacción	
	Effect size	0.34 (0.18; 0.63)*	-0.09 (-0.38; 0.17)	12.165 (0.002)	
Posteromedial	6 meses	102.24 (95.49; 109.00)	105.13 (98.84; 111.42)	5.221 (0.034)	-0.20 (-0.43; 0.02)
	12 meses	104.85 (99.33; 110.38)	107.31 (101.59; 113.04)		-0.26 (-0.51; 0.03)
	Tiempo F(p)	1.171 (0.293)		Interacción	
	Effect size	-0.19 (-0.55; 0.16)	-0.25 (-0.64; 0.13)	0.093 (0.764)	
Posterolateral	6 meses	99.35 (92.23; 106.47)	102.31 (95.07; 109.56)	1.732 (0.205)	-0.20 (-0.49; 0.10)
	12 meses	102.22 (95.57; 108.88)	104.72 (99.06; 110.37)		-0.18 (-0.55; 0.17)
	Tiempo F(p)	2.217 (0.174)		Interacción	
	Effect size	-0.19 (-0.43; 0.03)	-0.22 (-0.57; 0.08)	0.067 (0.799)	
Composite score	6 meses	86.56 (80.39; 92.73)	91.30 (84.95; 97.65)	12.744 (0.002)	-0.45 (-0.93; -0.09)*
	12 meses	90.05 (84.77; 95.33)	93.36 (88.43; 98.28)		-0.30 (-0.55; -0.06)*
	Tiempo F(p)	3.428 (0.081)		Interacción	
	Effect size	0.27 (0.03; 0.55)*	-0.20 (-0.50; 0.05)	2.445 (0.135)	

ANOVAs de medidas repetidas de dos vías, siendo la pierna (operada vs no operada) y el tiempo (6 y 12 meses) los factores intragrupos. Los efectos principales de los ANOVAs (pierna, tiempo) y las interacciones son presentadas como F score (p). Los datos descriptivos se presentan como media (Intervalo de confianza al 95%). Los tamaños de los efectos se calcularon utilizando el índice Hedges' g y se presentan como media (intervalo de confianza al 95%). * p<0.05

Equilibrio dinámico (Y-Balance Test) en las evaluaciones de 6 y 12 meses en personas tras una fractura bimalleolar de tobillo después de la cirugía en comparación con el grupo control

YBT- DIRECCIÓN	Operada Media (LI-LS)	No operada Media (LI-LS)	Factor	6 meses F(p)	12 meses F(p)
<i>Distancia de alcance obtenida del Y-Balance test normalizada por la longitud de la extremidad (%)</i>					
Anterior			<i>Pierna</i>	9.902 (0.005)	2.808 (0.105)
Fractura postcirugía (6 meses)	56.42 (50.70; 62.15)	65.77 (62.33; 71.22)	<i>Grupo</i>	2.253 (0.144)	1.025 (0.320)
Fractura postcirugía (12meses)	61.34 (56.41; 66.27)	66.92 (62.57; 71.28)	<i>Interacción</i>	15.895 (<0.001)	7.310 (0.011)
Grupo control	68.03 (64.0; 72.1)	66.71 (59.; 75.5)			
Efect size (6 meses)	-0.98 (-1.80; -0.21)	-0.08 (-0.83; 0.67)			
Efect size (12 meses)	-0.69 (-1.48; -0.06)	0.00 (-0.75; 0.75)			
Posteromedial			<i>Pierna</i>	3.901 (0.058)	5.318 (0.028)
Fractura postcirugía (6 meses)	102.25 (94.82; 109.67)	105.13 (97.78; 112.48)	<i>Grupo</i>	2.269 (1.143)	1.397 (0.247)
Fractura postcirugía (12meses)	104.44 (97.93; 110.95)	107.71 (100.91; 114.50)	<i>Interacción</i>	0.067 (0.79)	0.195 (0.662)
Grupo control	110.6 (100.6; 120.5)	112.01 (103.8; 121.7)			
Efect size (6 meses)	-0.58 (-1.30; 0.18)	-0.49 (-1.26; 0.26)			
Efect size (12 meses)	-0.45 (-1.22; 0.30)	-0.35 (-1.11; 0.40)			
Posterolateral			<i>Pierna</i>	0.057 (0.812)	0.010 (0.921)
Fractura postcirugía (6 meses)	99.35 (91.71; 106.98)	102.31 (94.59; 110.03)	<i>Grupo</i>	2.584 (0.103)	1.833 (0.17)
Fractura postcirugía (12meses)	102.225 (97.86; 111.581)	104.72 (97.86; 11.58)	<i>Interacción</i>	2.242 (0.146)	1.741 (0.198)
Grupo control	111.22 (100.1; 122.4)	109.12 (99.6; 118.5)			
Efect size (6 meses)	-0.76 (-1.56; 0.00)	-0.44 (-1.22; 0.32)			
Efect size (12 meses)	-0.60 (-1.40; 0.16)	-0.34 (-1.1; 0.41)			
Distancia compuesta			<i>Pierna</i>	5.007 (0.034)	2.315(0.140)
Fractura postcirugía (6 meses)	86.56 (80.34; 92.74)	91.30 (85.00; 97.60)	<i>Grupo</i>	2.454 (0.129) ²	1.298 (0.265)
Fractura postcirugía (12meses)	90.05 (84.40; 95.70)	93.36 (87.89; 98.82)	<i>Interacción</i>	7.098 (0.013)	3.824 (0.061)
Grupo control	96.63 (88.7; 104.5)	96.24 (88.0; 104.4)			
Efect size (6 meses)	-0.80 (-1.60; -0.02)	-0.38 (-1.16; 0.38)			
Efect size (12 meses)	-0.57 (-1.36; 0.19)	-0.25 (-1.02; 0.50)			

YBT: Y- Balance test. LI: Límite inferior de intervalo de confianza al 95%. LS: Límite superior del intervalo de confianza al 95%. * p<0.05.

ANOVAs de medidas repetidas de dos vías, siendo Pierna (operada vs no operada) el factor intragrupo y Grupo (fractura postcirugía vs. control) el factor intergrupo. Los ANOVAs fueron realizados a los 6 y a 12 meses respectivamente. Los efectos principales del ANOVA (Pierna, Grupo) y las interacciones son presentadas como F score (p). Los datos descriptivos se presentan como media (Intervalo de confianza al 95%). Los tamaños de los efectos se calcularon utilizando el índice Hedges' g y se presentan como media (intervalo de confianza del 95%).

ANEXO VII

Descriptivos (Media \pm SD) y fiabilidad intra-sesión test-retest de los parámetros de fuerza de cadera en personas tras una fractura bimalleolar de tobillo 6 meses después de la cirugía

	Dirección	Participantes	Ensayo 1	Ensayo 2	ICC_{2,1} (95% IC)	SEM (unidades) (95% IC)	MDC (95% IC)
<i>Fuerza muscular de la cadera normalizada por la masa corporal (%)</i>							
Extremidad no operada	Abducción	22	29.3 \pm 8.7	27.2 \pm 8.9	0.96 (0.33; 0.99)	1.0 (0.76; 1.28)	2.6 (2.11; 3.55)
	Aducción	22	25.8 \pm 8.6	24.0 \pm 7.9	0.95 (0.71; 0.99)	1.3 (1.06; 1.79)	3.7 (2.94; 4.96)
Extremidad operada	Abducción	22	27.7 \pm 8.4	25.5 \pm 7.3	0.91 (0.60; 0.97)	1.8 (1.45; 2.44)	5.0 (4.02; 6.76)
	Aducción	22	26.3 \pm 9.1	24.8 \pm 8.8	0.98 (0.72; 0.99)	0.9 (0.75; 1.26)	2.6 (2.09; 3.49)

ICC: Coeficiente de correlación intraclase; SEM: Error estándar de medición; MDC: mínimo cambio detectable; IC: Intervalo de confianza.

ANEXO VIII

ROM de flexión dorsal del tobillo, fuerza de la cadera, perímetros de la pantorrilla y bimalleolar en las evaluaciones de 6 y 12 meses en personas tras una fractura bimalleolar de tobillo

		Operada Media (LI-LS)	No operada Media (LI-LS)	Pierna F(p)	Effect size	
ROM flexión dorsal	6 meses	22.93 (19.76; 26.14)	35.33 (32.62; 38.05)	116.458 (<0.001)	-1.69 (-2.54; -1.20)*	
	12 meses	29.67 (25.97; 33.36)	37.10 (34.19; 39.99)			
	<i>Tiempo F(p)</i>	7.376 (0.013)				<i>Interacción</i>
	<i>Effect size</i>	0.76 (0.26; 1.32)*	-0.30 (-0.85; 0.23)			7.870 (0.011)
ABD cadera	6 meses	25.33 (21.88; 28.79)	29.35 (25.58; 33.12)	8.816 (0.008)	-0.46 (-0.83; -0.14)*	
	12 meses	30.16 (26.60; 33.73)	32.11 (28.83; 35.40)			
	<i>Tiempo F(p)</i>	13.513 (0.001)				<i>Interacción</i>
	<i>Effect size</i>	0.61 (0.25; 1.02)*	0.31 (0.05; 0.62)*			2.979 (0.100)
ADD cadera	6 meses	26.24 (22.11; 30.36)	26.10 (22.25; 29.96)	2.812 (0.109)	-0.01 (-0.14; 0.16)	
	12 meses	28.75 (24.88; 32.63)	26.62 (23.20; 0.03)			
	<i>Tiempo F(p)</i>	2.229 (0.151)				<i>Interacción</i>
	<i>Effect size</i>	0.27 (0.04; 0.52)*	-0.06 (-0.36; 0.23)			4.689 (0.043)
Perímetro gemelar	6 meses	34.31 (32.69; 35.93)	35.62 (33.88; 37.35)	16.941 (0.001)	-0.28 (-0.49; -0.11)*	
	12 meses	34.52 (32.76; 36.29)	35.52 (33.85; 37.20)			
	<i>Tiempo F(p)</i>	0.002 (0.964)				<i>Interacción</i>
	<i>Effect size</i>	-0.05 (-0.69; 0.59)	0.02 (-0.56; 0.60)			0.401 (0.534)
Perímetro bimalleolar	6 meses	25.00 (24.01; 25.89)	24.00 (23.14; 24.86)	156.129 (<0.001)	0.46 (0.30; 0.64)*	
	12 meses	25.71 (24.85; 26.58)	24.62 (23.90; 25.34)			
	<i>Tiempo F(p)</i>	0.969 (0.337)				<i>Interacción</i>
	<i>Effect size</i>	-0.05 (-0.67; 0.57)	-0.31 (-1.01; 0.37)			0.241 (0.629)

LI: Límite inferior de intervalo de confianza al 95%. LS: Límite superior del intervalo de confianza al 95%; ROM: Rango de movimiento. Abd: Abductores. Add: Aductores. ANOVAs de medidas repetidas de dos vías, siendo la pierna (operada vs no operada) y el tiempo (6 y 12 meses) los factores intragrupos. Los efectos principales de los ANOVAs (pierna, tiempo) y las interacciones son presentadas como F score (p). Los datos descriptivos se presentan como media (Intervalo de confianza al 95%). Los tamaños de los efectos se calcularon utilizando el índice Hedges' g y se presentan como media (intervalo de confianza al 95%). * p<0.05

ROM de flexión dorsal del tobillo, fuerza de la cadera, perímetros de la pantorrilla y bimaleolar en las evaluaciones de 6 y 12 meses en personas tras una fractura bimaleolar de tobillo respecto al grupo control

	Operada	No operada	Factor	6 meses	12 meses
	Media (LI-LS)	Media (LI-LS)		F(p)	F(p)
ROM Flexión dorsal			<i>Pierna</i>	37.861 (<0.001)	8.435 (0.007)
Fractura postcirugía (6 meses)	22.95 (19.76; 26.14)	35.33 (32.62; 38.05)	<i>Grupo</i>	26.791 (<0.001)	8.979 (0.005)
Fractura postcirugía (12meses)	29.67 (25.97; 33.36)	37.10 (34.19; 39.99)	<i>Interacción</i>	63.104 (<0.001)	19.931 (<0.001)
Grupo control	41.91 (37.50; 46.32)	40.34 (36.58; 44.09)			
<i>Efect size (6 meses)</i>	-2.58 (-3.62; -1.65)*	-0.80 (-1.57; -0.06)*			
<i>Efect size (12 meses)</i>	-1.44 (-2.28; -0.65)*	-0.48 (-1.23; 0.25)			
ABD de cadera			<i>Pierna</i>	3.017 (0.093)	0.603 (0.444)
Fractura postcirugía (6 meses)	25.33 (21.88; 28.79)	29.35 (25.58; 33.12)	<i>Grupo</i>	6.481 (0.016)	1.618 (0.213)
Fractura postcirugía (12meses)	30.16 (26.60; 33.73)	32.11 (28.83; 35.40)	<i>Interacción</i>	6.291 (0.018)	2.889 (0.100)
Grupo control	35.00 (30.23; 39.77)	34.28 (29.73; 38.82)			
<i>Efect size (6 meses)</i>	-1.22 (-2.03; -0.44)*	-0.57 (-1.32; 0.17)			
<i>Efect size (12 meses)</i>	-0.59 (-1.35; 0.14)	-0.29 (-1.02; 0.44)			
ADD de cadera			<i>Pierna</i>	2.252 (0.144)	6.454 (0.016)
Fractura postcirugía (6 meses)	26.24 (22.11; 30.36)	26.10 (22.25; 29.96)	<i>Grupo</i>	3.873 (0.058)	2.786 (0.105)
Fractura postcirugía (12meses)	28.75 (24.88; 32.63)	26.62 (23.20; 30.03)	<i>Interacción</i>	1.679 (0.205)	0.059 (0.810)
Grupo control	33.2 (29.07; 34.48)	31.73 (26.40; 37.06)			
<i>Efect size (6 meses)</i>	-0.67 (-1.53; 0.02)	-0.63 (-1.39; 0.10)			
<i>Efect size (12 meses)</i>	-0.53 (-1.28; 0.20)	-0.65 (-1.41; 0.09)			

LI: Límite inferior de intervalo de confianza al 95%. LS: Límite superior del intervalo de confianza al 95%; * $p < 0.05$.

ANOVAs de medidas repetidas de dos vías, siendo *Pierna* (Operada vs No operada) el factor intragrupo y *Grupo* (fractura vs. control) el factor intergrupo. Los ANOVAs fueron realizados a los 6 y a 12 meses respectivamente. Los efectos principales del ANOVA (*Pierna*, *Grupo*) y las interacciones son presentadas como F score (p). Los datos descriptivos se presentan como media (Intervalo de confianza al 95%). Los tamaños de los efectos se calcularon utilizando el índice Hedges' g y se presentan como media (intervalo de confianza del 95%)

ROM de flexión dorsal del tobillo, fuerza de la cadera, perímetros de la pantorrilla y bimaleolar en las evaluaciones de 6 y 12 meses en personas tras una fractura bimaleolar de tobillo respecto al grupo control (continuación)

Perímetro gemelar			<i>Pierna</i>	2.284 (0.141)	0.896 (0.352)
Fractura postcirugía (6 meses)	34.31 (32.69; 35.93)	35.62 (33.88; 37.35)	<i>Grupo</i>	1.557 (0.222)	1.588 (0.218)
Fractura postcirugía (12meses)	34.52 (32.76; 36.29)	35.52 (33.85; 37.20)	<i>Interacción</i>	8.071 (0.008)	4.800 (0.035)
Grupo control	33.40 (31.05; 35.75)	33.00 (30.49; 35.52)			
<i>Efect size (6 meses)</i>	0.25 (-0.48; 0.98)	0.67 (-0.07; 1.42)			
<i>Efect size (12 meses)</i>	0.26 (-0.46; 1.00)	0.67 (-0.06; 1.43)			
Perímetro bimaleolar			<i>Pierna</i>	44.615 (<0.001)	29.660 (<0.001)
Fractura postcirugía (6 meses) 20	25.00 (24.01; 25.89)	24.00 (23.14; 24.86)	<i>Grupo</i>	14.842 (0.001)	27.821 (<0.001)
Fractura postcirugía (12meses)	25.71 (24.85; 26.58)	24.62 (23.90; 25.34)	<i>Interacción</i>	10.343 (0.003)	7.886 (<0.001)
Grupo control 11	21.80 (20.51; 23.10)	21.45 (20.21; 22.69)			
<i>Efect size (6 meses)</i>	1.27 (0.77; 2.43)*	1.30 (0.52; 2.13)*			
<i>Efect size (12 meses)</i>	1.98 (1.11; 2.93)*	1.90 (1.08; 2.85)*			

LI: Límite inferior de intervalo de confianza al 95%. LS: Límite superior del intervalo de confianza al 95%; * $p < 0.05$.

ANOVAs de medidas repetidas de dos vías, siendo *Pierna* (Operada vs No operada) el factor intragrupo y *Grupo* (Fractura postcirugía vs. control) el factor intergrupo. Los ANOVAs fueron realizados a los 6 y a 12 meses respectivamente. Los efectos principales del ANOVA (*Pierna*, *Grupo*) y las interacciones son presentadas como *F score* (*p*). Los datos descriptivos se presentan como media (Intervalo de confianza al 95%). Los tamaños de los efectos se calcularon utilizando el índice Hedges' *g* y se presentan como media (intervalo de confianza del 95%)

ANEXO IX

Actividad muscular de los músculos de la parte distal y a los de la parte proximal de la extremidad operada y la no operada durante las pruebas de estabilometría a los 6 meses después de la cirugía en personas tras una fractura bimalleolar de tobillo

Tarea unipodal con los ojos abiertos (15)		Operada Media ± SD	No operada Media ± SD	Pierna F(p)	Effect size
Media de activación	Tobillo	14.9 ± 6.0	12.8 ± 4.6	0.849 (0.375)	0.37 (-0.35; 1.12)
	Cadera	8.1 ± 4.7	7.9 ± 3.8		0.004 (-0.69; 0.70)
	Articulación F(p)	20.753 (0.001)		Interacción	
	Effect size	1.81 (0.34; 2.14)⁺	1.06 (0.41; 1.83)⁺	1.006 (0.336)	
Coeficiente de variación	Tobillo	65.8 ± 9.6	70.2 ± 13.4	0.016 (0.900)	-0.35 (-1.04; 0.30)
	Cadera	48.1 ± 11.2	44.3 ± 17.4		0.22 (-0.21; 0.72)
	Articulación F(p)	26.756 (<0.001)		Interacción	
	Effect size	1.86 (0.89; 3.04)⁺	1.56 (0.76; 2.55)⁺	3.115 (0.103)	
Tarea unipodal con los ojos cerrados (12)		Operada	No operada	Pierna	Effect size
Media de activación	Tobillo	21.0 ± 7.9	18.9 ± 4.9	0.803 (0.388)	0.30 (-0.49; 1.12)
	Cadera	11.6 ± 5.8	10.8 ± 5.1		0.14 (-0.42; 0.70)
	Articulación F(p)	26.292 (<0.001)		Interacción	
	Effect size	1.27 (0.14; 2.53)⁺	1.52 (0.75; 2.46)⁺	0.257 (0.621)	
Coeficiente de variación	Tobillo	63.6 ± 12.9	64.0 ± 10.3	0.46000 (0.997)	-0.03 (-0.77; 0.71)
	Cadera	57.6 ± 17.2	57.2 ± 15.6		-0.31 (-1.22; 0.57)
	Articulación F(p)	2.830 (0.121)		Interacción	
	Effect size	0.36 (-0.23; 1.00)	0.49 (-0.48; 1.49)	0.010 (0.923)	

OA: ojos abiertos; OC: ojos cerrados; SD: desviación estándar; ANOVAs de medidas repetidas de dos vías. siendo la pierna (Operada vs No operada) y articulación (distal vs proximal) los factores intragrupos. Los efectos principales de los ANOVAs (pierna, articulación) y las interacciones son presentadas como F score (p). Los datos descriptivos se presentan como media y desviación estándar. Los tamaños de los efectos se calcularon utilizando el índice Hedges' g y se presentan como media (intervalo de confianza al 95%); *: diferencia entre extremidad operada y no operada; +: diferencias entre segmento distal y proximal; p < 0.05

Actividad muscular de los músculos de la parte distal y a los de la parte proximal de la extremidad operada y la no operada durante las pruebas de estabilometría a los 6 meses después de la cirugía en personas tras una fractura bimalleolar de tobillo (continuación)

Tarea en posición de tándem (15)		Operada	No operada	Pierna	Effect size
Media de activación	Tobillo	8.3 ± 4.8	8.4 ± 5.3	0.000 (0.998)	-0.02 (-0.46; 0.42)
	Cadera	5.3 ± 3.4	5.2 ± 2.2		0.03 (-0.75; 0.82)
	Articulación <i>F(p)</i>	9.248 (0.009)		<i>Interacción</i>	
	Effect size	0.65 (0.15; 1.27)⁺	0.65 (0.11; 1.44)⁺	0.061 (0.809)	
Coeficiente de variación	Tobillo	78.2 ± 18.1	77.2 ± 21.6	0.006 (0.941)	0.05 (-0.58; 0.67)
	Cadera	47.1 ± 25.3	47.3 ± 27.6		-0.01 (-0.53; 0.51)
	Articulación <i>F(p)</i>	33.585 (<0.001)		<i>Interacción</i>	
	Effect size	1.31 (0.60; 2.20)⁺	1.21 (0.47; 1.91)⁺	0.019 (0.892)	
Prueba		Operada	No operada	Pierna	Effect size
Unipodal OA	Total/prueba	10.9 ± 3.6	9.3 ± 3.4	12.000 (0.302)	0.38 (-0.27; 1.02)
Unipodal OC	Total/prueba	15.7 ± 4.4	13.6 ± 3.7		0.46 (-0.30; 1.27)
Tándem	Total/prueba	5.8 ± 2.0	6.2 ± 3.4		0.08 (-0.45; 0.63)
	Prueba <i>F(p)</i>	11.000 (p< 0.001)		<i>Interacción</i>	
		OC>OA>T	OC>OA>T	11.000 (0.283)	

OA: ojos abiertos; OC: ojos cerrados; SD: desviación estándar; ANOVAs de medidas repetidas de dos vías. siendo la pierna (Operada vs No operada) y articulación (distal vs proximal) los factores intragrupos. Los efectos principales de los ANOVAs (pierna, articulación) y las interacciones son presentadas como *F* score (*p*). Los datos descriptivos se presentan como media y desviación estándar. Los tamaños de los efectos se calcularon utilizando el índice Hedges' *g* y se presentan como media (intervalo de confianza al 95%); *: diferencia entre extremidad operada y no operada; +: diferencias entre segmento distal y proximal; p< 0.05

Actividad muscular de los músculos de la parte distal y a los de la parte proximal de la extremidad operada y la no operada durante la estabilometría a los 12 meses después de la cirugía. en personas tras una fractura bimalleolar de tobillo

Tarea unipodal con los ojos abiertos (21)		Operada	No operada	Pierna	Effect size
		Media ± SD	Media ± SD	F(p)	
Mia de activación	Tobillo	11.0 ± 8.0	11.1 ± 6.4	0.050 (0.826)	0.11 (-0.23; 0.48)
	Cadera	8.7 ± 6.1	10.3 ± 10.3		-0.18 (-0.75; 0.37)
	<i>Articulación F(p)</i>		0.585 (0.454)		<i>Interacción</i>
	<i>Effect size</i>		0.30 (-0.06; 0.70)	-0.02 (-0.48; 0.42)	1.576 (0.224)
Coeficiente de variación	Tobillo	52.5 ± 27.0	48.0 ± 29.1	0.620 (0.441)	0.15 (-0.47; 0.79)
	Cadera	38.8 ± 12.8	35.7 ± 11.3		0.24 (-0.35; 0.85)
	<i>Articulación F(p)</i>		9.150 (0.007)		<i>Interacción</i>
	<i>Effect size</i>		0.62 (-0.00; 1.28)	0.51 (-0.05; 1.16)	0.019 (0.892)
Tarea unipodal con los ojos cerrados (19)		Operada	No operada	Pierna	Effect size
Media de activación	Tobillo	22.7 ± 6.3	18.9 ± 5.2	0.803 (0.388)	0.62 (0.20; 1.10)*
	Cadera	14.8 ± 8.3	11.4 ± 7.9		0.40 (-0.04; 0.87)
	<i>Articulación F(p)</i>		26.282 (>0.001)		<i>Interacción</i>
	<i>Effect size</i>		1.02 (0.37; 1.75)⁺	0.99 (0.55; 1.67)⁺	0.257 (0.621)
Coeficiente de variación	Tobillo	62.0 ± 12.5	66.2 ± 13.4	0.107 (0.748)	-0.30 (-0.71; 0.09)
	Cadera	54.9 ± 22.0	53.0 ± 19.7		0.09 (-0.47; 0.65)
	<i>Articulación F(p)</i>		8.129 (0.011)		<i>Interacción</i>
	<i>Effect size</i>		0.38 (-0.22; 1.01)	0.74 (0.15; 1.39)⁺	0.627 (0.439)

OA: ojos abiertos; OC: ojos cerrados; SD: desviación estándar; ANOVAs de medidas repetidas de dos vías. siendo la pierna (Operada vs No operada) y articulación (distal vs proximal) los factores intragrupos. Los efectos principales de los ANOVAs (pierna, articulación) y las interacciones son presentadas como F score (p). Los datos descriptivos se presentan como media y desviación estándar. Los tamaños de los efectos se calcularon utilizando el índice Hedges' g y se presentan como media (intervalo de confianza al 95%); *: diferencia entre extremidad operada y no operada; +: diferencias entre segmento distal y proximal; p< 0.05

Actividad muscular de los músculos de la parte distal y a los de la parte proximal de la extremidad operada y la no operada durante la estabilometría a los 12 meses después de la cirugía. en personas tras una fractura bimalleolar de tobillo (continuación)

Tarea en posición de tándem (21)		Operada	No operada	Pierna	Effect size
Media de activación	Tobillo	9.6 ± 5.0	8.2 ± 3.3	0.000 (0.998)	0.10 (-0.18; 0.40)
	Cadera	7.5 ± 8.1	5.6 ± 4.7		0.10 (-0.56; 0.74)
	Articulación F(p)	9.248 (0.009)		Interacción	
	Effect size	0.26 (-0.05; 0.68)	0.60 (0.10; 1.19)⁺	0.06 (0.809)	
Coeficiente de variación	Tobillo	64.3 ± 26.0	69.0 ± 22.3	0.245 (0.626)	-0.19 (-0.76; 0.37)
	Cadera	36.8 ± 33.9	38.1 ± 21.6		-0.04 (-0.62; 0.53)
	Articulación F(p)	42.629 (>0.001)		Interacción	
	Effect size	0.87 (0.31; 1.51)⁺	1.35(0.78; 0.02)⁺	0.135 (0.718)	
Prueba		Operada	No operada	Pierna	Effect size
Unipodal OA	Total/prueba	7.9 ± 4.9	9.4 ± 11.7	16.000 (0.664)	-0.12 (-0.68; 0.42)
Unipodal OC	Total/prueba	14.7 ± 4.7	12.2 ± 4.7		0.56 (0.22; 0.94)[*]
Tándem	Total/prueba	6.5 ± 4.6	6.2 ± 4.4		0.04 (-0.5; 0.67)
	Prueba F(p)	15.000 (p<0.001)		Interacción	
		UOC > UOA; UOC > T		15.000 (0.230)	

OA: ojos abiertos; OC: ojos cerrados; SD: desviación estándar; ANOVAs de medidas repetidas de dos vías. siendo la pierna (Operada vs No operada) y articulación (distal vs proximal) los factores intragrupos. Los efectos principales de los ANOVAs (pierna. articulación) y las interacciones son presentadas como F score (p). Los datos descriptivos se presentan como media y desviación estándar. Los tamaños de los efectos se calcularon utilizando el índice Hedges' g y se presentan como media (intervalo de confianza al 95%); *: diferencia entre extremidad operada y no operada; +: diferencias entre segmento distal y proximal; p< 0.05

Actividad muscular de los músculos de la parte distal y a los de la parte proximal de la extremidad operada y la no operada durante el Y-Balance test a los 6 meses después de la cirugía en personas tras una fractura bimalleolar de tobillo

YBT- Dirección		Operada Media ± SD	No operada Media ± SD	Pierna F(p)	Effect size
Anterior	Tobillo	28.2 ± 9.9	34.1 ± 7.8	0.016 (0.901)	-0.62 (-1.33; 0.03)
	Cadera	27.4 ± 10.3	20.8 ± 9.6		0.62 (0.04; 1.26)*
	Articulación F(p)	10.200 (0.007)			Interacción
	Effect size	0.07 (-0.38; 0.53)	1.42 (0.68; 2.33)⁺		30.806 (>0.001)
Posteromedial	Tobillo	28.3 ± 8.8	31.1 ± 6.7	0.777 (0.398)	-0.33 (-0.97; 0.27)
	Cadera	29.6 ± 10.9	22.4 ± 13.5		0.55 (-0.15; 1.30)
	Articulación F(p)	3.607 (0.082)			Interacción
	Effect size	-0.12 (-0.63; 0.37)	0.71 (0.09; 1.51)⁺		4.121 (0.065)
Posterolateral	Tobillo	28.4 ± 8.7	31.0 ± 8.5	2.319 (0.156)	-0.28 (-0.82; 0.23)
	Cadera	23.8 ± 11.5	26.5 ± 15.7		-0.36 (-0.89; 0.08)
	Articulación F(p)	4.742 (0.052)			Interacción
	Effect size	0.40 (-0.04; 0.92)	0.30 (-0.22; 0.92)		0.000 (0.984)
YBT- Dirección		Operada Media ± SD	No operada Media ± SD	Pierna F(p)	Effect size
Anterior	Total /dirección	27.2 ± 6.7	29.7 ± 5.9	6.037 (0.032)	-0.32 (-1.14; 0.36)
Posteromedial	Total /dirección	23.0 ± 6.5*	29.5 ± 6.9*		-0.90 (-1.70; -0.21)
Posteromedial	Total /dirección	26.9 ± 7.6	29.9 ± 10.4		-0.29 (-0.77; 0.13)
Activación total	Total/pierna	25.7 ± 1.9*	29.7 ± 1.9*		-1.96 (-3.14; -1.04)

YBT: Y-Balance tes; SD: desviación estándar; F: factor ANOVA; *: diferencia entre extremidad operada y no operada; +: diferencias entre segmento distal y proximal; p < 0.05

Actividad muscular de los músculos de la parte distal y a los de la parte proximal de la extremidad operada y la no operada durante el Y-Balance test a los 12 meses después de la cirugía en personas tras una fractura bimalleolar de tobillo

YBT- Dirección		Operada Media ± SD	No operada Media ± SD	Pierna F(p)	Effect size
Anterior	Tobillo	31.4 ± 6.9	32.2 ± 7.3	0.418 (0.526)	-0.17 (-0.57; 0.21)
	Cadera	25.2 ± 11.3	21.4 ± 11.7		0.32 (-0.19; 0.85)
	<i>Articulación F(p)</i>		16.623 (0.001)		<i>Interacción</i>
	<i>Effect size</i>		0.62 (0.10; 1.22)⁺	1.03 (0.48; 1.71)⁺	3.245 (0.088)
Posteromedial	Tobillo	32.0 ± 8.7	32.4 ± 7.3	0.011 (0.917)	-0.05 (-0.47; 0.38)
	Cadera	25.0 ± 11.1	25.0 ± 8.5		0 (-0.55; 0.55)
	<i>Articulación F(p)</i>		15.917 (0.001)		<i>Interacción</i>
	<i>Effect size</i>		0.67 (0.14; 1.25)⁺	0.90 (0.34; 1.51)⁺	0.022 (0.884)
Posterolateral	Tobillo	27.5 ± 15.2	27.0 ± 9.4	0.040 (0.844)	0 (-0.43; 0.43)
	Cadera	21.4 ± 14.6	23.1 ± 10.8		-0.13 (-0.77; 0.51)
	<i>Articulación F(p)</i>		4.580 (0.046)		<i>Interacción</i>
	<i>Effect size</i>		0.39 (-0.01; 0.81)	0.39 (-0.13; 0.89)	0.441 (0.515)
YBT- Dirección		Operada Media ± SD	No operada Media ± SD	Pierna F(p)	Effect size
Anterior	Total /dirección	29.3 ± 6.4	30.8 ± 7.4	17.000 (0.412)	-0.09 (-0.63; 0.44)
Posteromedial	Total /dirección	30.3 ± 7.2	30.9 ± 5.9		-0.05 (-0.52; 0.42)
Posteromedial	Total /dirección	25.3 ± 14.2	27.6 ± 9.5		-0.11 (-0.60; 0.37)
Activación total	Total/pierna	28.3 ± 6.4	29.7 ± 5.5		-0.22 (-0.77; 0.31)

YBT: Y-Balance tes; SD: desviación estándar; F: factor ANOVA; +: diferencias entre segmento distal y proximal; p< 0.05

Tablas suplementarias

Equilibrio estático en la evaluación de los 6 meses después de la cirugía en las 15 personas con fractura bimalleolar de tobillo

Tarea unipodal con los ojos abiertos	Extremidad operada	Extremidad no operada	Effect size Hedges' g
	Media ± SD	Media ± SD	
COP DISTANCIA (mm)	613.8 ± 200.6	584.1 ± 216.1	0.13 (-0.28; 0.56)
V(mm/sg)	33.0 ± 4.3	20.1 ± 6.4	0.30 (-0.39; 1.12)
LFS	1.6 ± 0.5	1.5 ± 0.7	0.15 (-0.54; 0.86)
Tarea unipodal con los ojos cerrados	Operada	No operada	Effect size Hedges' g
COP DISTANCIA (mm)	1157.6 ± 411.6	1293.6 ± 315.3	-0.33 (-0.110; 0.38)
V (mm/sg)	37.6 ± 1.5	43.1 ± 1.1	-3.78 (-6.20; -2.14)
LFS	0.8 ± 0.2	0.7 ± 0.2	0.91 (-0.14; 1.84)
Tarea de tándem	Operada	No operada	Effect size Hedges' g
COP DISTANCIA (mm)	665.7 ± 328.7	541.9 ± 342.3	0.35 (-0.14; 0.86)
V (mm/sg)	34.5 ± 3.3	18.1 ± 1.1	0.61 (-0.17; 1.46)
LFS	1.1 ± 0.5	1.0 ± 0.5	0.19 (-0.51; 0.90)

SD: desviación estándar; COP DISTANCIA: distancia recorrida por el centro de presiones; V_{cop}: velocidad media del centro de presiones; LFS: longitud/superficie

Resultados del YBT a los 6 meses después de la cirugía en las 15 personas con fractura bimalleolar de tobillo

YBT- Dirección	Extremidad operada	Extremidad no operada	Pierna F(p)	Effect size
	Media ± SD	Media ± SD		
Anterior	62.2 ± 11.8	69.9 ± 10.4		-0.64 (-1.19; -0.18)
Posteromedial	102.7 ± 10.9	108.0 ± 10.8	13.285 (0.004)	-0.45 (-0.77; -0.19)
Posterolateral	98.4 ± 14.9	102.2 ± 13.5		-0.25 (-0.70; 0.18)

Los datos descriptivos se presentan como media ± desviación estándar. Los tamaños de los efectos se calcularon utilizando el índice Hedges' g y se presentan como media (intervalo de confianza al 95%).

ROM de flexión dorsal del tobillo, fuerza de la cadera en las evaluaciones de 6 meses de la cirugía en las 15 personas con fractura bimalleolar de tobillo

	Extremidad operada	Extremidad no operada	<i>Effect size Hedges' g</i>
	Media ± SD	Media ± SD	
<i>ROM de flexión dorsal del tobillo (°)</i>			
6 meses	24.4 ± 8.7	37.4 ± 5.0	-1.46 (-2.65; -1.00)
<i>Fuerza de ABD de la cadera normalizada con respecto a la masa corporal (%)</i>			
6 meses	28.2 ± 5.2	32.4 ± 8.2	-0.53 (-1.12; -0.08)

ROM: Rango de movimiento; ABD: Fuerza de los abductores de la cadera. Los datos descriptivos se presentan como media ± desviación estándar. Los tamaños de los efectos se calcularon utilizando el índice Hedges' g y se presentan como media (intervalo de confianza al 95%).

ANEXO XII

Correlaciones entre estabilometría y la actividad muscular de la articulación del tobillo y de la cadera a los 6 meses y a los 12 meses después de la cirugía en personas tras una fractura bimalleolar de tobillo

			DIS _{COP}		V _{COP}		LFS		FDT _{ROM}	
			6 meses	12 meses	6 meses	12 meses	6 meses	12 meses	6 meses	12 meses
UNIPODAL OJOS ABIERTOS	Media	Tobillo	-,229	,108	,210	,109	-,618*	,350	-,568*	-,348
		Cadera	,211	,222	,357	,223	-,164	,196	-,160	-,259
	CV	Tobillo	,092	,141	,111	,141	,291	,019	,451	-,387
		Cadera	,152	-,096	,006	-,096	-,401	,018	,273	-,227
UNIPODAL OJOS CERRADOS	Media	Tobillo	-,453	-,166	-,367	-,148	,317	,160	-,399	-,409
		Cadera	,526	,090	,542	,007	,480	,324	,115	-,150
	CV	Tobillo	,499	,681	,485	,617	-,182	-,292	,183	,036
		Cadera	,345	,271	,347	,319	-,666*	-,051	,125	,224
TÁNDEM	Media	Tobillo	,563*	,314	-,020	,315	-,589*	,272	-,455	-,517*
		Cadera	,447	,220	,069	,221	,452	-,010	-,158	,144
	CV	Tobillo	-,096	,087	,272	,088	,207	-,032	,363	,046
		Cadera	,429	,109	,113	,109	-,410	-,106	,039	,478*

DIS_{COP}: Distancia recorrida por el centro de presiones; V_{COP}: velocidad de movimiento del centro de presiones; LFS: longitud/superficie; CV: coeficiente de variación

