



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Evaluación y tratamiento funcional tras
fracturas complejas y artrodesis: a
propósito de un caso

Functional assessment and treatment
following complex fractures and
arthrodesis: a case report

Autor

Luis Otal Gallinat

Director/es

Sergio Hijazo Larrosa

Facultad de Ciencias de la Salud
Curso académico 2024-2025

Índice

Resumen	3
Abstract	4
Introducción	5
Metodología	7
Descripción del caso	7
Cuestionarios de calidad de vida y funcionalidad	8
Pruebas funcionales	8
Análisis videográfico de la marcha	9
Análisis de la fuerza máxima	10
Tratamiento	10
Ejercicios de fuerza	11
Ejercicios funcionales	11
Resultados	12
Discusión	15
Conclusiones	18
Anexos	24
ANEXO 1	24
ANEXO 2	27

Resumen

Introducción: Este estudio analiza el caso de un paciente de 35 años con artrodesis de tobillo previa y fracturas complejas recientes en ambas piernas. Se plantea que un programa de ejercicios de fuerza y funcionales puede mejorar su marcha, calidad de vida y funcionalidad general.

Metodología: Se realizó un estudio de caso único (n=1) con diseño longitudinal pre-post intervención. Durante 5 semanas, el paciente siguió un programa individualizado de ejercicios de fuerza y funcionales, con análisis antes y después del tratamiento. Para analizarlo, se utilizaron cuestionarios (SF-36, FAAM), pruebas funcionales (TUG, 10MWT, test de Flamenco, Sit to Stand), análisis de marcha en 3D con ModelHealth® y pruebas de fuerza máxima.

Resultados: Se observaron mejoras en todos los parámetros: reducción en los tiempos del TUG y 10MWT, aumento de repeticiones en pruebas funcionales, mayor fuerza en extremidades inferiores y una marcha más simétrica y eficiente, además de mejorar en las puntuaciones en SF-36 y FAAM.

Discusión: Un tratamiento fisioterapéutico personalizado y progresivo basado en ejercicio de fuerza puede acelerar la recuperación incluso en casos complejos. Se observó una mejoría tanto objetiva (fuerza, movilidad) como subjetiva (percepción de funcionalidad). ModelHealth® demostró ser una herramienta útil para el análisis biomecánico, aunque con limitaciones en ciertas mediciones angulares.

Conclusión: El ejercicio terapéutico individualizado generó mejoras funcionales significativas. Herramientas tecnológicas accesibles como ModelHealth® pueden complementar eficazmente la fisioterapia tradicional, facilitando el seguimiento del paciente.

Palabras clave: Artrodesis de tobillo, fracturas complejas, marcha, ejercicio terapéutico, rehabilitación funcional, ModelHealth®, análisis biomecánico, videografía 3D.

Abstract

Introduction: This case study analyzes a 35-year-old patient with prior ankle arthrodesis and recent complex fractures in both legs. It is proposed that a strength and functional exercise program can improve gait, quality of life, and overall functionality.

Methodology: A single-case (n=1) longitudinal pre-post intervention design was conducted. For one month, the patient followed an individualized program of strength and functional exercises, with assessments before and after treatment. The tools used included questionnaires (SF-36, FAAM), functional tests (TUG, 10MWT, Flamingo test, Sit to Stand), 3D gait analysis using ModelHealth®, and maximal strength tests.

Results: Improvements were observed in all parameters: decreased times in TUG and 10MWT, increased repetitions in functional tests, greater lower limb strength, and a more symmetrical and efficient gait, in addition to better scores in SF-36 and FAAM.

Discussion: A personalized and progressive physiotherapy treatment based on therapeutic exercise can optimize recovery even in complex cases. Improvements were observed both objectively (strength, mobility) and subjectively (perceived functionality). ModelHealth® proved to be a useful tool for biomechanical analysis, although it showed limitations in certain angular measurements.

Conclusion: Individualized therapeutic exercise led to significant functional improvements. Accessible technological tools such as ModelHealth® can effectively complement traditional physiotherapy by facilitating patient monitoring.

Keywords: Ankle arthrodesis, complex fractures, gait, therapeutic exercise, functional rehabilitation, ModelHealth®, biomechanical analysis, 3D videography.

Introducción

La artrodesis tibioastragalina es un procedimiento quirúrgico que consiste en la fusión de la articulación del tobillo, eliminando el movimiento entre la tibia y el astrágalo. Esta intervención se realiza principalmente en casos de patologías severas que no responden a tratamientos conservadores, como fracturas complejas, artrosis avanzada o necrosis avascular del astrágalo, esta última corresponde al caso del paciente objeto de este estudio. La artrodesis se considera una opción terapéutica cuando la preservación de la movilidad articular no es viable, y su principal objetivo es aliviar el dolor y mejorar la estabilidad y funcionalidad del paciente [1,2], dando resultados satisfactorios en hasta un 75% de los pacientes [3].

La fusión articular tiene consecuencias biomecánicas, ya que la pérdida de movilidad en el tobillo produce alteraciones en la marcha, generando compensaciones en otras articulaciones del miembro contralateral, lo que aumenta el riesgo de artrosis secundaria[1]. Sin embargo, diversos estudios han señalado que esta pérdida de movilidad es compensada por un aumento del movimiento en articulaciones metatarsianas y metatarsofalángicas del pie operado, lo que también aumenta la probabilidad de padecer artrosis en estas articulaciones [4-6]. Al mismo tiempo, estos cambios mecanismos compensatorios consiguen no incrementar significativamente el coste energético de la marcha [7].

En el caso del paciente de este estudio, se optó por una artrodesis de tobillo debido a su edad, ya que la artroplastia total de tobillo se descarta en pacientes jóvenes por la limitada durabilidad de las prótesis y la necesidad de recambio a corto plazo, lo que hace que la artrodesis sea la opción más frecuente en esta población[8]. Recientemente, el paciente sufrió una fractura de fémur, tibia y peroné en la pierna contralateral debido a una caída, lo que añade complejidad al análisis de su patrón de marcha. Sin embargo, este estudio no busca aislar las alteraciones derivadas de la artrodesis, sino analizar de forma global cómo se ve afectado el patrón de marcha tras un proceso de recuperación funcional basado en ejercicios de fuerza de miembros inferiores (MMII).

Se evaluará y comparará la marcha alterada con un patrón de marcha fisiológico, para identificar las compensaciones y diseñar intervenciones de fisioterapia que minimicen las secuelas funcionales.

Una innovación de este estudio es el uso de ModelHealth® una plataforma web de videografía 3D sin marcadores que permite analizar la marcha de forma accesible y precisa, sin equipos costosos. Esto facilita evaluaciones más frecuentes en tiempo real, permiten estimar cinemática y dinámica articular a partir de vídeos capturados con dispositivos móviles, y ofrece una alternativa efectiva y validada frente a los sistemas tradicionales de laboratorio[9], con una alta fiabilidad [10].

HIPÓTESIS

El trabajo de fuerza específico en MMII influye positivamente en la biomecánica de la marcha de un paciente con múltiples lesiones traumatológicas, mejorando su funcionalidad global.

OBJETIVOS

Objetivo principal:

- Analizar el efecto de un programa de fuerza en la mejora del patrón de marcha en un paciente con antecedentes de artrodesis de tobillo y múltiples fracturas de miembros inferiores.

Objetivos específicos:

- Comparar las alteraciones del patrón de marcha antes y después del programa de ejercicio terapéutico.
- Evaluar los cambios en la calidad de vida del paciente tras la intervención.
- Valorar la utilidad del análisis videográfico 3D sin marcadores mediante la plataforma *ModelHealth*® como herramienta de evaluación funcional.

Finalidad del Trabajo de Fin de Grado:

La finalidad del trabajo es explorar la utilidad de herramientas tecnológicas innovadoras en el análisis de la marcha, como la plataforma ModelHealth®, por su accesibilidad y potencial en entornos clínicos reales.

Metodología

Este estudio sigue un diseño de reporte de caso único (n=1) con diseño longitudinal pre-post intervención, con objetivo de evaluar la efectividad de un programa de ejercicios de fuerza y funcionales en un paciente con artrodesis de tobillo y politraumatismo en la pierna contralateral. Se realizarán mediciones antes y después 5 semanas de tratamiento, evaluando la calidad de vida, la funcionalidad, el equilibrio y la movilidad. El estudio consta de tres fases:

1. **Evaluación inicial (pre-intervención):** Evaluación inicial con cuestionarios y pruebas físicas.
2. **Intervención:** Durante 5 semanas, el paciente realizará un programa de ejercicios de fuerza y funcionales, ajustando cargas respecto a la evaluación inicial.
3. **Evaluación final (post-intervención):** Repetición de las pruebas para comparar resultados y evaluar efectividad.

La intervención se desarrolló entre el 1 de marzo y el 7 de abril de 2025 y las variables que se analizaron fueron la **fuerza muscular de MMII**, funcionalidad mediante **test específicos, rangos articulares** durante la marcha mediante videografía y cuestionarios sobre **calidad de vida** y estado físico.

Descripción del caso

El paciente es un varón de 35 años intervenido de artrodesis de tobillo en diciembre de 2023. Posteriormente a la operación, sufrió una caída el 8 de octubre de 2024, presentando múltiples fracturas (fémur derecho, tibia y peroné derechos, L5 y sacro, diástasis de sínfisis púbica). Posteriormente, se le diagnosticó además una fractura en la meseta tibial de la pierna izquierda, que también requirió intervención quirúrgica.

Tras dos meses sin carga tras la última operación, comenzó a caminar con muletas y a mediados de febrero de 2025 caminó sin ayudas externas. La valoración inicial del estudio se realizó el 26 de febrero de 2025.

En el momento del tratamiento, el paciente se encuentra de baja laboral, realiza sus actividades de la vida diaria con dificultad, pero se vale por sí mismo. Además,

desde febrero de 2025 empezó a realizar 45 minutos de ejercicio en bicicleta de spinning dos días a la semana como parte de su rutina física. En el momento de la realización de las mediciones, el paciente no tiene dolor asociado a la marcha, por ello no se le realiza una medición de éste de forma específica.

Cuestionarios de calidad de vida y funcionalidad

Se administrarán 2 cuestionarios al paciente:

- **SF-36:** un cuestionario genérico que mide la calidad de vida en ocho dimensiones puntuadas de 0 a 100 (100 representa el mejor estado de salud). Su fiabilidad ha sido demostrada en poblaciones con patologías musculoesqueléticas, incluyendo pacientes con artrodesis de tobillo [11]
- **FAAM** (ANEXO 1): un cuestionario específico para evaluar la función y discapacidad del pie y tobillo. Consta de dos subescalas: actividades de la vida diaria y actividades deportivas. Cada ítem se puntuará de 0 (incapacidad total) a 4 (ninguna dificultad), obteniendo una puntuación final en porcentaje. Es una herramienta válida y fiable en pacientes con patología de pie y tobillo [12].

Pruebas funcionales

Se realizarán un total de 4 pruebas funcionales:

- Se realizó el **TUG Test** (Timed Up and Go Test) para evaluar la movilidad funcional y el equilibrio. El paciente debía levantarse de una silla de 46cm, caminar tres metros, girar, regresar a sentarse de nuevo. Se registró el tiempo en segundos, donde valores menores indican mejor movilidad. Como referencia, menos de 10 segundos sugiere una movilidad normal, mientras que más de 20 segundos indica una movilidad muy limitada [13].
- Se llevó a cabo el Test de Marcha de 10 Metros (**10MWT**) para valorar la velocidad de la marcha. Se le pide al paciente caminar 10 metros a su ritmo habitual y se midió el tiempo empleado, calculando la velocidad en metros por segundo. Valores de referencia indican que una velocidad mayor a 1,2 m/s es normal, mientras que menos de 0,8 m/s sugiere una movilidad muy limitada [14].
- Se utilizó el test de **flamenco** para evaluar el equilibrio estático. El paciente debía permanecer en apoyo unipodal, manteniendo el pie

contrario apoyado en la parte interna de la rodilla, en posición de flamenco. Se cronometra el tiempo conseguido, con un máximo de 30 segundos [15].

- Se empleó una variante del test **One-Leg Sit-to-Stand** (STS) validado en población joven sana [16], el cual ha demostrado una excelente fiabilidad test-retest (ICC = 0.960) y validez relacionada con la fuerza concéntrica de los MMII. En lugar de evaluar el tiempo necesario para realizar una única repetición, como en el protocolo original, en esta intervención se utilizó la variante "Máximo Repetitions Single-Leg Sit-to-Stand Test", se realizan el máximo número de repeticiones seguidas en sentadilla unipodal. Como en la primera medición no se consiguió ninguna repetición, se realizó el 1 minute **sit to stand test** [17].

Análisis videográfico de la marcha

Se realizó un análisis tridimensional de la marcha utilizando la aplicación móvil OpenCap®, que vuelca la información en la plataforma web ModelHealth®, la cual crea un modelo 3D a partir de grabaciones con tres smartphones. Esta herramienta mide con precisión los movimientos articulares durante la marcha, facilitando la comparación pre y post tratamiento.

Las grabaciones se realizaron siguiendo un protocolo estandarizado y reproducible. Se colocaron las cámaras a 1 metro de altura: una en posición frontal y las otras dos a 60° de la cámara frontal, separadas 3 metros a cada lado. Los datos obtenidos se utilizaron para evaluar la evolución los determinantes de la marcha, que son movimientos o mecanismos que el cuerpo utiliza para minimizar el gasto energético al caminar, los determinantes han sido referenciados por Saunders et al. [18], que son:

1. **Rotación pélvica en el plano horizontal:** ayuda a alargar la zancada y mejorar la eficiencia.
2. **Oblicuidad pélvica en el plano frontal:** permite mantener el equilibrio y controlar el centro de masa durante la fase de balanceo.
3. **Movimientos laterales de la pelvis:** favorecen la estabilidad del cuerpo al desplazar el centro de masa sobre la pierna de apoyo.

4. **Flexión de rodilla durante la fase de apoyo:** reduce los desplazamientos verticales del centro de masa.
5. **Acortamiento funcional de la extremidad en fase de balanceo:** evita que el pie arrastre durante el paso.
6. **Movimiento del pie y ángulos del tobillo en el plano sagital:** importantes para el correcto contacto inicial y despegue del pie.

Se analizaron todas estas variables excepto el acortamiento funcional de la extremidad, ya que no se relaciona directamente con el rango de movimiento (ROM) de una articulación, que es lo que se puede analizar con la videografía.

Tampoco se evaluaron de forma específica los movimientos laterales de la pelvis, ya que son desplazamientos muy sutiles que no pueden medirse con precisión mediante este método de grabación sin marcadores.

Análisis de la fuerza máxima

Los ejercicios utilizados para estimar la fuerza máxima del paciente al inicio y al final del tratamiento con la realización de una repetición máxima (1RM), son los siguientes: **extensión de rodilla en máquina, flexión de rodilla en máquina, abducción de cadera en máquina y aducción de cadera en máquina.** Debido a la imposibilidad de realizar 1RM en las primeras mediciones por dolor, se aplicó la fórmula de Epley, que demuestra una alta precisión en la estimación de 1RM [19], siempre que sea menos de 10 repeticiones y buscando el fallo muscular [20]:

1RM estimado = (Peso levantado × 0,033 × repeticiones) + Peso levantado

Tratamiento

El tratamiento consistió en un programa de ejercicios de fuerza y ejercicios funcionales con el objetivo de aumentar la fuerza de MMII y mejorar la funcionalidad global del paciente. En los ejercicios de fuerza se realizaron **4 series de 12 repeticiones al 65% del 1RM**, dentro del rango recomendado para lograr adaptaciones de fuerza e hipertrofia muscular [21]. Con un descanso entre series de 1-2 minutos, y un descanso entre ejercicios de 3 minutos. Se realizaron 3 días a la semana, con 1 día de descanso entre ellos.

Ejercicios de fuerza

Se trabajó el entrenamiento de los MMII mediante ejercicios específicos en máquina, con la finalidad de mejorar la velocidad de la marcha y la cinemática de esta [22,23]:

- **Extensión y flexión de rodilla en máquina:** ejercicio dirigido a cuádriceps e isquiotibiales, respectivamente, esenciales para mejorar la función y reducir la sintomatología del paciente [24].
- **Abducción y aducción de cadera en máquina:** enfocado en los músculos abductores y aductores de cadera, respectivamente. Se incluyen debido a su papel fundamental en la estabilidad lateral y control postural durante actividades funcionales como la marcha [25].

Se produjo un aumento de 2 kg cada semana en la carga, que es el mínimo incremento posible en las máquinas utilizadas. El peso se incrementó únicamente si el paciente era capaz de completar al menos 10 repeticiones en todas las series; en caso contrario, se redujo la carga en las siguientes series que no fuera capaz de completar (ANEXO 2).

Ejercicios funcionales

Los ejercicios funcionales se orientaron a mejorar la estabilidad y la capacidad del paciente para realizar actividades diarias, se pautaron 2 series de 12 repeticiones:

- **Marcha con resistencia elástica:** marcha (4 pasos) contra resistencia elástica, con la goma en la pelvis. Con el objetivo de mejorar la estabilidad en la marcha[26].
- **Subida y bajada de un step:** A 30 cm de altura. Para mejorar fuerza y potencia de los miembros inferiores[27].
- **Press Pallof en sentadilla isotónica:** ejercicio de estabilización del core en el que el paciente resistirá la tracción lateral de una banda elástica o polea, colocada a 1,5 metros, manteniendo el tronco estable y alineado. La secuencia se basa en sentadilla para levantarse del asiento, tras esto un press pallof 3-4 segundos y se vuelve a sentar.

Resultados

Pruebas funcionales

Test	Pre intervención	Post intervención
Timed Up and Go (TUG)	9,65 s	8,87 s
Test de Marcha de 10 Metros (10MWT)	10,60 s (0,94 m/s – 3,38 km/h)	9,56 s (1,05 m/s – 3,78 km/h)
Test de Flamenco modificado	30 s equilibrio unipodal en ambas piernas (EVA 7 pierna derecha)	30 s equilibrio unipodal en ambas piernas (EVA 3 pierna izquierda)
Sit to Stand (bilateral)	18 repeticiones (30 s) / 36 repeticiones (60 s)	21 repeticiones (30 s) / 40 repeticiones (60 s)
Single Leg Sit to Stand	No logró realizar ninguna repetición	3 repeticiones con cada pierna

Ejercicios de fuerza

Ejercicio	1RM Pre (estimado con Epley)	1RM Post (real)
Extensión de rodilla	32,8 kg (4 reps con 29 kg)	48 kg
Flexión de rodilla	25,0 kg (4 reps con 23 kg)	43 kg
Abducción de cadera	56,6 kg (4 reps con 50 kg)	68 kg
Aducción de cadera	50,9 kg (4 reps con 45 kg)	45 kg

Cuestionario SF-36

Dimensión	Pre intervención	Post intervención
Funcionamiento físico	30 / 100	55 / 100
Limitaciones por problemas físicos	0 / 100	25 / 100
Limitaciones por problemas emocionales	0 / 100	100 / 100

Energía / fatiga	45 / 100	50 / 100
Bienestar emocional	20 / 100	64 / 100
Funcionamiento social	20 / 100	63 / 100
Dolor	10 / 100	45 / 100
Salud general	25 / 100	50 / 100

Resultados de la escala FAAM

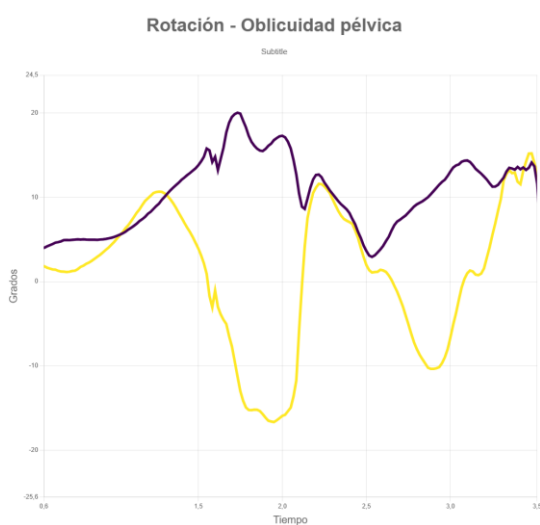
Subescala	Pre intervención	Post intervención
Actividades de la vida diaria (ADL)	32 / 84 (38%)	50 / 84 (60%)
Deporte	3 / 32 (9%)	8 / 32 (25%)

Autopercepción: En actividades de la vida diaria (ADL), el paciente valoró su estado en un 10% antes del tratamiento, aumentando hasta un 50% tras la intervención. En relación con las actividades deportivas, se autocalificó con un 35% antes y un 40% después del tratamiento.

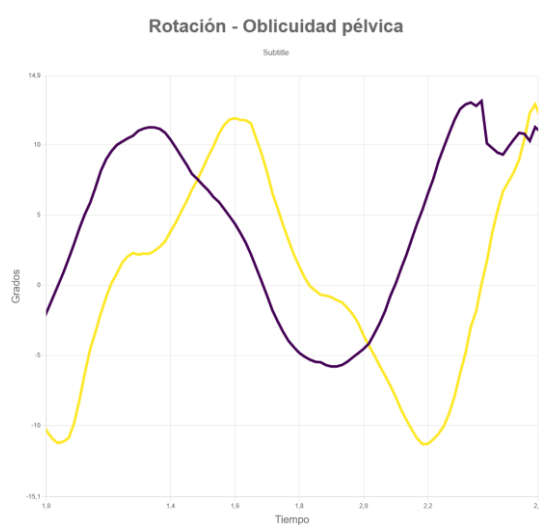
Análisis marcha

Rotación - Oblicuidad pélvica (Comienzo fase de apoyo con pie izquierdo)

Pretratamiento



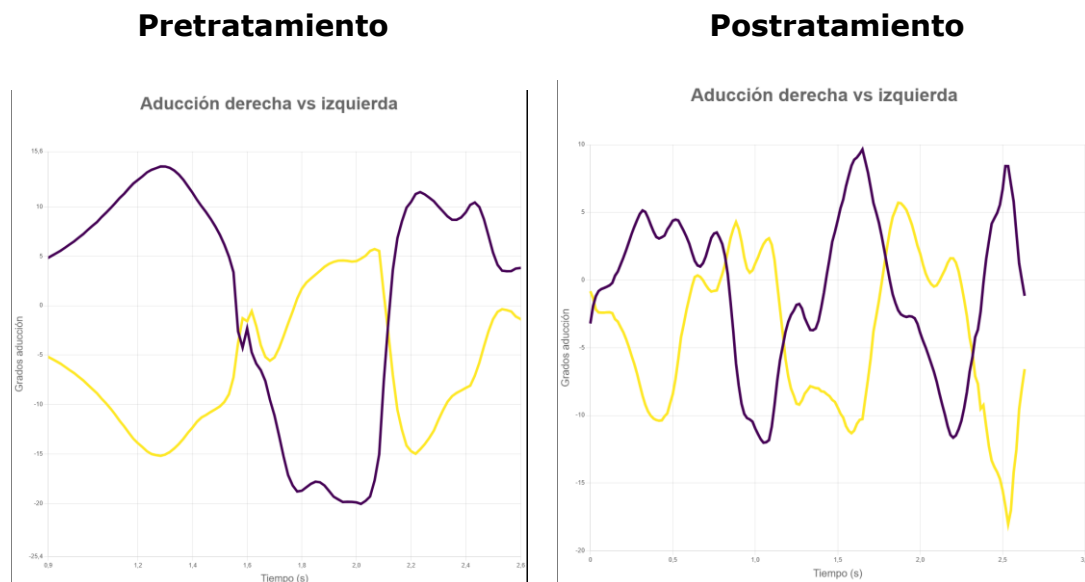
Postratamiento



En la gráfica de Oblicuidad pélvica - Rotación pélvica, se observa que en el pretratamiento la oblicuidad pélvica alcanzaba los 10° al apoyar el pie derecho y -15° al apoyar el izquierdo. Tras la intervención, en el postratamiento, se observaron valores de 10° y -10° respectivamente.

En cuanto a la rotación pélvica, inicialmente solo se observaba una rotación efectiva hacia el lado izquierdo ($10-15^\circ$), mientras que hacia el lado derecho apenas alcanzaba 5° . Tras el tratamiento, se consiguió una rotación hacia el lado derecho de -5° .

Cadera derecha - Cadera izquierda (Comienzo fase de apoyo con pie derecho)



En cuanto a la aducción de cadera, en el pretratamiento se evidenciaba una mayor aducción en la cadera izquierda (-20°) al apoyar el peso, en contraste con la derecha (-15°). En el postratamiento, ambos lados alcanzan valores de $\pm 12^\circ$.

Discusión

La intervención fisioterapéutica ha producido variaciones en todas las variables analizadas en este caso:

Los resultados del test Timed Up and Go (TUG) mostraron una reducción en el tiempo necesario para completar la prueba, lo cual indica una mejora en la movilidad funcional y la capacidad de transferencia de peso. Esta mejoría está relacionada con el aumento de la fuerza de los miembros inferiores conseguido a través del programa de entrenamiento muscular, como señala Rivera et al. [28] en su revisión sistemática de 2023. Además, esta mejora funcional está relacionada con la mejoría en el 10MWT, logrando tiempos más cercanos a los valores normales tras la intervención, lo que sugiere un patrón de locomoción más eficiente y mayor velocidad de marcha.

Respecto al 10MWT, un metaanálisis reciente concluye que el entrenamiento de fuerza progresivo de alta intensidad es la modalidad más eficaz para mejorar la velocidad de marcha [23]. Suficiente fuerza muscular es clave para este progreso, reforzando la idea de que mejoras en fuerza y movilidad funcional impactan positivamente en el 10MWT.

En el test de Flamenco se mantuvo los tiempos máximos permitidos, pero se observó una notable disminución en la percepción del dolor, lo que sugiere una mejora en la tolerancia a la carga unilateral. Estos resultados son coherentes con lo descrito en la literatura, donde se ha observado que los programas de entrenamiento muscular progresivo contribuyen a la reducción del dolor y al aumento de la fuerza muscular en pacientes en rehabilitación, favoreciendo así una mejor tolerancia funcional a la carga y una disminución del riesgo de caídas [23]. Esta reducción del dolor podría haber influido en el rendimiento en otras pruebas funcionales, como el Sit to Stand, donde se notó un aumento significativo en el número de repeticiones, tanto bilaterales como unipodales, permitiendo realizar por primera vez el Single Leg Sit to Stand, algo que no fue posible en la evaluación inicial. Esta mejoría en el test Sit to Stand está directamente relacionada con el aumento de la fuerza en los miembros inferiores, esta relación entre la fuerza muscular mediante 1RM y el rendimiento en el test fue demostrada en adolescentes por Reychler et al. [29]

En lo que respecta a la fuerza muscular en máquinas, los valores obtenidos tras la intervención muestran un progreso claro en todos los ejercicios evaluados, destacando especialmente en los de extensión y flexión de rodilla, donde el paciente logró una repetición máxima real sin dolor. Sin embargo, en las mediciones de fuerza máxima no se encontraron mejoras en la aducción de cadera, lo cual puede estar explicado por la mayor exigencia de las pruebas anteriores a 1RM.

Este cambio en comparación con la evaluación inicial, donde se estimó el 1RM debido al dolor en los ejercicios, implica un avance significativo en la recuperación, tanto en la fuerza como en la tolerancia al esfuerzo de las estructuras implicadas. Este aumento en la fuerza muscular puede atribuirse al trabajo de entrenamiento muscular realizado al 65% del 1RM, intensidad que se ha demostrado efectiva para promover mejoras en fuerza y en la capacidad funcional en programas de rehabilitación tras fractura de cadera [30]

La videografía 3D mostró mejoras claras en la simetría y control de la pelvis durante la marcha. La videografía 3D evidenció una mejora en la simetría pélvica, tanto en oblicuidad como en rotación y la combinación de ambas mostraban mayor congruencia con un patrón de marcha fisiológico. La rotación en el pretratamiento se observaba disminuida en el lado derecho, debido a que el paso se lanzaba rápidamente debido al dolor de la pierna izquierda, lo que comprometía la longitud de zancada en ese lado, tras el tratamiento, se redujo la asimetría con el lado izquierdo (10°) y mostrando una evolución positiva. Aunque todavía está lejos de los valores normativos de ± 5 [31].

Se observó además una aducción de cadera más equilibrada entre ambos lados, mostrando una mejoría en la simetría y control de la pelvis durante la marcha y asemejándose más con los valores normativos de entre 8° y 10° [31], observándose menor caída en la pelvis.

Es importante matizar que, según el artículo de referencia de OpenCap®, las mediciones en el plano sagital, especialmente en articulaciones como la rodilla, la cadera y el tobillo, presentan más limitaciones en cuanto a precisión. Esto se debe a que las cámaras y algoritmos empleados tienen mayor sensibilidad en los planos frontal y transversal, mientras que en el sagital la captación es más susceptible a errores de angulación y alineación [32]. Por este motivo, se optó

por no incluir los datos de flexión de tobillo, ya que resultaron inconsistentes incluso dentro de una misma sesión. En el caso de la flexión de cadera, no se encontraron cambios significativos pre y post tratamiento, lo cual puede deberse tanto a la falta de cambios reales como a la imprecisión del sistema en este plano.

Estas mejoras observadas en los parámetros de la marcha concuerdan con la literatura revisada, la cual demuestra que programas de fuerza con cargas progresivas son capaces de modificar la cinemática de la marcha. En el estudio de Persch et al. [22], tras un programa de entrenamiento de fuerza en personas mayores, se evidenció una mejora significativa en las variables espaciales, temporales y angulares de la marcha.

El estudio presenta limitaciones, entre las cuales cabe citar el propio diseño del estudio, al tratarse de un solo caso, no permite extrapolar los resultados obtenidos, además, la duración del estudio también ha sido un gran limitante, siendo necesarias 8 semanas para poder observar cambios más significativos. En cuanto a la plataforma ModelHealth®, la falta de precisión en la medida de las articulaciones pequeñas no ha permitido analizarlas correctamente, lo cual hubiera sido interesante al aportar más datos sobre el miembro inferior.

Conclusiones

Este estudio ha demostrado que un programa de entrenamiento muscular progresivo tiene un impacto positivo en la mejora del patrón de marcha de un paciente con antecedentes de artrodesis de tobillo y fracturas complejas, produciendo una recuperación en movilidad, fuerza y control postural. Esta mejoría se evidencia tanto de forma cuantitativa y cualitativa.

En cuanto al patrón de marcha, su análisis comparativo antes y después del programa de entrenamiento muscular reveló mejoras en variables clave, como la simetría pélvica y la rotación de cadera, lo que implica una evolución positiva en la marcha. Estas mejoras se corresponden con la literatura existente, que indica que los programas de entrenamiento muscular progresivo pueden corregir compensaciones en la marcha.

Respecto a la calidad de vida, los resultados muestran una clara mejoría tras el tratamiento. En el cuestionario SF-36 se observaron aumentos destacables en funcionamiento físico, bienestar emocional, dolor y funcionamiento social. En la escala FAAM, el porcentaje en actividades de la vida diaria pasó del 38% al 60%, y en deporte del 9% al 25%. Además, la autopercepción funcional también mejoró de forma notable.

Finalmente, la herramienta de análisis videográfico 3D sin marcadores, mediante la plataforma ModelHealth®, ha mostrado ser útil para la evaluación funcional del paciente. Aunque presenta algunas limitaciones en cuanto a la precisión de ciertas angulaciones, especialmente en el plano sagital, su capacidad para visualizar de forma accesible y objetiva las alteraciones del patrón de marcha y poder analizarlo gráficamente facilita el seguimiento del paciente.

Bibliografía

- [1] Kerkhoff YRA, van Boxtel W, Louwerens JWK, Keijsers NLW. Asymmetries in Gait and Balance Control After Ankle Arthrodesis. *J Foot Ankle Surg* 2018;57:899–903. <https://doi.org/10.1053/J.JFAS.2018.03.022>.
- [2] Deleu PA, Besse JL, Naaim A, Leemrijse T, Birch I, Devos Bevernage B, et al. Change in gait biomechanics after total ankle replacement and ankle arthrodesis: a systematic review and meta-analysis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2020;73:213–25. <https://doi.org/10.1016/J.CLINBIOMECH.2020.01.015>.
- [3] Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología [Internet]. Artrodesis de tobillo. Consideraciones sobre la técnica quirúrgica. [citado 6 may 2025]. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-espanola-cirugia-ortopedica-traumatologia-129-articulo-artrodesis-tobillo-consideraciones-sobre-tecnica-10018191>
- [4] Macklin Vadell A, Sperone E, Bigatti A, Iglesias M, Atilmis Y, Rofrano Botta MA, et al. Compromiso de las articulaciones vecinas en la evolución alejada de la artrodesis de tobillo. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol.* 2024;89(2):113-20.
- [5] Gaedke IE, Wiebking U, O'loughlin PF, Krettek C, Gaulke R. Clinical and Radiological Mid- to Long-term Outcomes Following Ankle Fusion. *In Vivo* 2018;32:1463–71. <https://doi.org/10.21873/INVIVO.11400>.
- [6] Coester LM, Saltzman CL, Leupold J, Pontarelli W. Long-term results following ankle arthrodesis for post-traumatic arthritis. *J Bone Joint Surg Am* 2001;83:219–28. <https://doi.org/10.2106/00004623-200102000-00009>.
- [7] Marshall R, Wood G, Nade S. Effects of ankle arthrodesis on walking: kinematic and kinetic studies. *Clinical Biomechanics* 1990;5:3–8. [https://doi.org/10.1016/0268-0033\(90\)90025-2](https://doi.org/10.1016/0268-0033(90)90025-2).
- [8] Flavin R, Coleman SC, Tenenbaum S, Brodsky JW. Comparison of gait after total ankle arthroplasty and ankle arthrodesis. *Foot Ankle Int* 2013;34:1340–8. <https://doi.org/10.1177/1071100713490675>.

- [9] Uhlrich SD, Falisse A, Kidziński Ł, Muccini J, Ko M, Chaudhari AS, et al. OpenCap: Human movement dynamics from smartphone videos. *PLoS Comput Biol* 2023;19:e1011462. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PCBI.1011462>.
- [10] Lima YL, Collings T, Hall M, Bourne MN, Diamond LE. Validity and reliability of trunk and lower-limb kinematics during squatting, hopping, jumping and side-stepping using OpenCap markerless motion capture application. *J Sports Sci* 2024. <https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2415233>.
- [11] Vilagut G, Ferrer M, Rajmil L, Rebollo P, Permanyer-Miralda G, Quintana JM, et al. El Cuestionario de Salud SF-36 español: una década de experiencia y nuevos desarrollos. *Gac Sanit* 2005;19:135–50.
- [12] Membrilla-Mesa MD, Aranda-Villalobos P, Pozuelo-Calvo R, Cuesta-Vargas AI, Arroyo-Morales M. Foot and ankle ability measure: Validation of a Spanish version with 29 items in rehabilitation setting. *Rehabilitacion (Madr)* 2022;56:312–9. <https://doi.org/10.1016/J.RH.2021.09.007>.
- [13] Módica M, Ostolaza M, Abudarham J, Barbalaco L, Dilascio S, Drault-Boedo ME, et al. Validación del Timed up and go test como predictor de riesgo de caídas en sujetos con artritis reumatoide. Parte I: confiabilidad y aplicabilidad clínica. *Rehabilitacion (Madr)* 2017;51:226–33. <https://doi.org/10.1016/J.RH.2017.07.001>.
- [14] Sánchez-González JL, Llamas-Ramos I, Llamas-Ramos R, Molina-Rueda F, Carratalá-Tejada M, Cuesta-Gómez A. Reliability and validity of the 10-Meter Walk Test (10MWT) in adolescents and young adults with Down syndrome. *Children*. 2023;10:655. <https://doi.org/10.3390/CHILDREN10040655>.
- [15] Muscat-Inglott M. The Modified Flamingo Test: A convenient assessment of balance for planning exercise interventions with older adults. *SSRN Electron J*. 2020. <https://doi.org/10.2139/SSRN.3594107>.

- [16] Thongchoomsin S, Bovonsunthonchai S, Joseph L, Chamnongkich S. Clinimetric properties of the one-leg sit-to-stand test in examining unilateral lower limb muscle strength among young adults. *Int J Clin Pract* 2020;74. <https://doi.org/10.1111/IJCP.13556>.
- [17] Vilarinho R, Montes AM, Noites A, Silva F, Melo C. Reference values for the 1-minute sit-to-stand and 5 times sit-to-stand tests to assess functional capacity: a cross-sectional study. *Physiotherapy* 2024;124:85–92. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSIO.2024.01.004>.
- [18] SAUNDERS JB, INMAN VT, EBERHART HD. The major determinants in normal and pathological gait. *J Bone Joint Surg Am* 1953;35 A:543–58. <https://doi.org/10.2106/00004623-195335030-00003>.
- [19] Lacio ML, Damasceno VO, Vianna JM, Lima JRP, Reis VM, Brito JP, et al. Precisão das equações preditivas de 1-RM em praticantes não competitivos de treino de força. *Motricidade* 2010;6:31–7. <https://doi.org/10.6063/motricidade.143>.
- [20] Wood TM, Maddalozzo GF, Harter RA. Accuracy of seven equations for predicting 1-RM performance of apparently healthy, sedentary older adults. *Meas Phys Educ Exerc Sci* 2002;6:67–94. https://doi.org/10.1207/S15327841MPEE0602_1.
- [21] Schoenfeld BJ, Grgic J, Van Every DW, Plotkin DL. Loading recommendations for muscle strength, hypertrophy, and local endurance: a re-examination of the repetition continuum. *Sports* 2021;9:32. <https://doi.org/10.3390/SPORTS9020032>.
- [22] Persch LN, Ugrinowitsch C, Pereira G, Rodacki ALF. Strength training improves fall-related gait kinematics in the elderly: a randomized controlled trial. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2009;24:819–25. <https://doi.org/10.1016/J.CLINBIOMECH.2009.07.012>.
- [23] Li S, Ng WH, Abujaber S, Shaharudin S. Effects of resistance training on gait velocity and knee adduction moment in knee osteoarthritis patients: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep* 2021;11:16104. <https://doi.org/10.1038/S41598-021-95426-4>.

- [24] McQuade KJ, De Oliveira AS. Effects of progressive resistance strength training on knee biomechanics during single leg step-up in persons with mild knee osteoarthritis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2011;26:741. <https://doi.org/10.1016/J.CLINBIOMECH.2011.03.006>.
- [25] Lanza MB, Rock K, Marchese V, Addison O, Gray VL Hip abductor and adductor rate of torque development and muscle activation, but not muscle size, are associated with functional performance. *Front Physiol.* 2021;12:744153. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2021.744153>
- [26] Yeun YR. Effectiveness of resistance exercise using elastic bands on flexibility and balance among the elderly people living in the community: a systematic review and meta-analysis. *J Phys Ther Sci* 2017;29:1695. <https://doi.org/10.1589/JPTS.29.1695>.
- [27] Mair JL, De Vito G, Boreham CA. Low volume, home-based weighted step exercise training can improve lower limb muscle power and functional ability in community-dwelling older women. *J Clin Med.* 2019;8:41.<https://doi.org/10.3390/JCM8010041>.
- [28] Rivera P, Trujillo C, Yáñez-Yáñez R, Draguicevic NMA, Quintana-Peña P, Parra-Rizo MA. Entrenamiento de fuerza para prevención de caídas en personas mayores: Una revisión sistemática. *Revista Científica Salud Uninorte* 2024;40:216–38. <https://doi.org/10.14482/SUN.40.01.650.452>.
- [29] Reyhler G, Pincin L, Audag N, Poncin W, Caty G. One-minute sit-to-stand test as an alternative tool to assess the quadriceps muscle strength in children. *Respir Med Res* 2020;78:100777. <https://doi.org/10.1016/J.RESMER.2020.100777>.
- [30] Soro-García P, González-Gálvez N. Effects of progressive resistance training after hip fracture: a systematic review. *J Funct Morphol Kinesiol* 2025;10:54. <https://doi.org/10.3390/JFMK10010054>.
- [31] Brunnekreef JJ, Van Uden CJT, Van Moorsel S, Kooloos JGM. Reliability of videotaped observational gait analysis in patients with orthopedic impairments. *BMC Musculoskelet Disord* 2005;6. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-6-17>.

- [32] Svetek A, Morgan K, Burland J, Glaviano NR. Validation of OpenCap on lower extremity kinematics during functional tasks. *J Biomech* 2025;183:112602. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOMECH.2025.112602>.

Anexos

ANEXO 1

Spanish version of the Foot and Ankle Ability Measure (FAAM)

Subescala para las Actividades de la Vida Diaria

Por favor conteste cada pregunta con una sola respuesta que mejor describa su condición durante la semana pasada.

Si la actividad en cuestión está limitada por algo que no sea el pie o tobillo, márkela como "No aplicable" (N / A).

	Sin dificultad	Ligera dificultad	Moderada dificultad	Extrema dificultad	Imposible de realizar	N/A
Estar de pie						
Caminar en terreno llano						
Caminar en terreno llano sin zapatos						
Caminar cuesta arriba						
Caminar cuesta abajo						
Subir escaleras						
Bajar escaleras						
Caminar en terreno irregular						
Subir y bajar bordillos						
Ponerse en cuclillas						
Ponerse de puntillas						
Comenzar a andar						
Andar 5 minutos o menos						
Caminar 10 minutos aproximadamente						
Caminar 15 minutos o más						

A causa de su pie y tobillo, cuánta dificultad tiene para:

	Sin ninguna dificultad	Ligera dificultad	Moderada dificultad	Extrema dificultad	Imposible de realizar	N/A
Tares domésticas						
Actividades de la vida diaria						
Cuidado personal						
Trabajo de ligero a moderado (estar de pie, caminar)						
Trabajo duro (empujar/tirar, escalar, transportar)						
Actividades de recreo						

¿Cómo calificaría su actual nivel de función durante sus actividades habituales de la vida diaria de 0 a 100, siendo 100 el nivel de función anterior a su problema de pie o tobillo y 0 la incapacidad para llevar a cabo cualquiera de sus actividades diarias habituales?

_____ %

Medida de la Capacidad del pie y tobillo

Subescala para Deportes

A causa de su pie y tobillo, cuánta dificultad tiene para:

	Sin ninguna dificultad	Ligera dificultad	Moderada dificultad	Extrema dificultad	Imposible de realizar	N/A
Correr						
Saltar						
Aterrizar (caída al suelo del salto)						
Arrancar y detenerse rápidamente						
Movimientos laterales						
Actividades de bajo impacto						
Capacidad para practicar ejercicio con su técnica normal						
Capacidad para participar en su deporte deseado tanto tiempo como quiera						

¿Cómo calificaría su nivel actual de función durante sus actividades deportivas de 0 a 100, siendo 100 el nivel de función anterior a su problema de pie o tobillo y 0 la incapacidad para llevar a cabo cualquiera de sus actividades diarias habituales?

_____ %

En general, ¿cómo calificaría su nivel actual de función?

Normal Casi normal Anormal Severamente anormal

ANEXO 2

Semana	Extensión de rodilla (kg)	Flexión de rodilla (kg)	Abducción de cadera (kg)	Aducción de cadera (kg)
1	20,5	16,25	35,3	31,8
2	22,5	18,25	37,3	33,8
3	24,5	20,25	39,3	35,8
4	26,5	22,25	41,3	37,8
5	28,5	24,25	43,3	39,8