



**Universidad
del Gran Rosario**

RESUMEN DE INVESTIGACIÓN

Proyectos de Investigación y Desarrollo - PID

Título de la investigación

Nuevo dispositivo para evaluar la fuerza isométrica de abductores/rotadores externos del complejo tobillo y pie

Nº Resol. Rectoral de Acreditación del Proyecto: 292/2021 - 477/2023

Fecha de Ejecución: 30/07/2021 - 30/06/2025.

Director/Coordinador del proyecto: Capozza Ricardo

ORCID del director/coordinador del proyecto: 0009-0004-3877-1211

Integrantes: Ferretti José Luis, Pisani Leandro, Pilot Nicolás, Intelangelo Leonardo, Cointry Gustavo, González Romina, Lüscher, Sergio Hugo, Mackler Leandro.

Mail de contacto director/coordinador: rcapozza@gmail.com

Institución: Universidad del Gran Rosario (UGR)

Resumen del proyecto

Introducción

El esguince lateral de tobillo (LAS, Lateral Ankle Sprain) es la lesión musculoesquelética más frecuente del deportista y presenta la tasa más alta de reincidencia entre las lesiones de miembros inferiores.

Aproximadamente el 40 % de los individuos que sufren un LAS desarrolla inestabilidad crónica del tobillo (CAI, Chronic Ankle Instability), caracterizada por dolor recurrente, sensación de "ceder" y déficit funcional. La evaluación objetiva de la fuerza de los músculos rotadores externos y abductores del complejo articular tobillo-pie — principalmente peroneo lateral largo y peroneo lateral corto— es central para el diagnóstico, el monitoreo de la rehabilitación y la decisión del alta deportiva. La tecnología dinamométrica corrientemente disponible presenta limitaciones: la dinamometría isocinética es costosa, requiere experiencia operativa y no es portable; los dinamómetros de mano (HHD) son portables y económicos pero están sujetos a sesgos del evaluador y a suplencias musculares no aisladas.

La línea conjunta CEMFoC–UDEBOM/UGR había desarrollado, en el marco del PICT 2019/3341 dirigido por el Co-Director del presente PID, un dispositivo original que combina portabilidad, aislamiento del segmento evaluado y eliminación de la influencia del examinador, basado en una celda de carga Mark-10 series 5 acoplada a un soporte

rígido de pie y rodilla con pivot lateral libre. El presente PID se propuso testar, validar y consolidar este dispositivo como herramienta clínica y de investigación.

Objetivos generales y específicos

Objetivo general:

Validar un nuevo dispositivo dinamométrico de diseño y construcción propios para medir la fuerza isométrica de los abductores/rotadores externos del complejo tobillo-pie, mediante análisis de su confiabilidad métrica (test-retest) y de su especificidad funcional (correlato con la activación

electromiográfica de los músculos peroneos), y proveer valores normativos de referencia para su aplicación clínica y deportiva.

Objetivos específicos:

1. Determinar si el dispositivo presenta una aceptable fiabilidad test-retest, mediante el análisis de coeficientes de correlación intraclase (ICC), error típico, error típico como coeficiente de variación y cambio mínimo detectable (MDC) al 95 % de confianza.
2. Analizar, mediante electromiografía de superficie simultánea a la dinamometría, el nivel de activación muscular de los músculos peroneo lateral largo, peroneo lateral corto, tibial anterior, tibial posterior, soleo y gemelos durante la prueba de fuerza isométrica de abducción/rotación externa, para acreditar la especificidad de la maniobra para la musculatura peronea.
3. Aproximar valores normativos de la fuerza isométrica determinada con el dispositivo en una muestra de varones jóvenes deportistas amateurs sin antecedentes de esguince de tobillo, para constituir la base de referencia poblacional inicial.
4. Difundir los resultados en foros científicos especializados y consolidar su publicación con referato externo en revista internacional indexada del campo.

Desarrollo

Se estudiaron varones de 18 a 35 años, futbolistas amateurs de futsal y deportistas afines, sin antecedentes de cirugías ni lesiones de miembros inferiores en los 12 meses previos, con IMC entre 18,5 y 24,9 kg/m². El protocolo de evaluación incluyó: (i) caracterización antropométrica y dominancia manual; (ii) cuestionarios estandarizados (QPAQ, LEFS, IdFAI-Es para descartar inestabilidad pre-existente); (iii) tres mediciones de fuerza isométrica de rotación externa/abducción del tobillo durante 6 segundos con descanso de 60 s entre intentos, con el participante sentado y con rodilla y tobillo a 90°; (iv) electromiografía de superficie simultánea a la primera dinamometría, con electrodos MeditraceTM Ag/AgCl colocados según normas ISEK y SENIAM sobre los seis músculos seleccionados, mediante electromiógrafo de 4 canales con resolución de 16 bits y frecuencia de muestreo de 2 kHz; (v) una segunda dinamometría idéntica 10 días después, para análisis de confiabilidad test-retest. Se efectuaron análisis de correlación intraclase (ICC), error típico, MDC al 95 %, correlación de Pearson entre fuerza

dinamométrica y activación EMG para cada músculo, y análisis de varianza con ANCOVA para los ajustes alométricos. El protocolo se desarrolló en colaboración estable con la Unidad de Investigación Musculoesquelética CUADI/UGR (Dr. L. Intelangelo, Lic. L. Pisani) y con soporte instrumental complementario del CEMFoC – FCM-UNR. Como aplicación clínica derivada, se ejecutó un estudio transversal en pacientes con inestabilidad crónica de tobillo (CAI, n = 20) utilizando el mismo dispositivo, para acreditar su sensibilidad diagnóstica frente a la patología objetivo. Adicionalmente, el dispositivo se integró como instrumento sustantivo en dos estudios posteriores de la línea sobre estructura ósea del peroné y de la tibia en respuesta al entrenamiento deportivo, donde se acreditó como aporte instrumental crítico para la cuantificación de la fuerza muscular peronea específica.

Resultados obtenidos

5. Confiabilidad test-retest acreditada. El dispositivo presentó coeficientes de correlación intraclase aceptables y un coeficiente de variación inferior al criterio pre-establecido del 10 %, en concordancia con los requisitos del Consorcio Internacional de Tobillo (International Ankle Consortium) para herramientas de evaluación.

6. Validación electromiográfica de la especificidad. La activación EMG durante la maniobra fue significativamente mayor en los músculos peroneo lateral largo y peroneo lateral corto que en los músculos antagonistas y sinergistas (tibial anterior, tibial posterior, soleo, gemelos), acreditando que el movimiento medido por el dispositivo aísla selectivamente la musculatura peronea —el target diagnóstico— y evita las supencias y compensaciones musculares que afectan a los dinamómetros de mano.

7. Valores normativos en varones jóvenes deportistas amateurs. Se obtuvieron medias, desviaciones estándar y coeficientes de variación de la fuerza máxima de eversión/abducción (FMxR) en la muestra de referencia, permitiendo la construcción de gráficas Z-scorizadas para uso comparativo en casos individuales.

8. Aplicación clínica en CAI: detección significativa del déficit de fuerza eversora. En 20 sujetos con inestabilidad crónica diagnosticada por IdFAI-Es ≥ 11 , el dispositivo detectó una disminución significativa de la fuerza eversora del lado afectado respecto del contralateral sano ($p = 0,01$), no detectada en otras variables (fuerza inversora, ROMFD, equilibrio postural).

Adicionalmente, la inmovilización precoz y la ausencia de ejercicio activo agravaron significativamente el déficit ($p = 0,05$ y $p = 0,04$ respectivamente). Estos hallazgos acreditan la sensibilidad diagnóstica del dispositivo para detectar la disfunción característica de la patología objetivo.

9. Publicación con referato externo en revista internacional indexada (hito principal del PID). Los resultados de la validación métrica y electromiográfica fueron formalizados en un manuscrito enviado el 27 de noviembre de 2025 a Journal of Biomechanics (identificación inicial BM-D-25-01599), aceptado y publicado en 2026 con DOI

10.1016/j.jbiomech.2026.113287. La revista está clasificada en Q1 del campo Biomechanics / Biomedical Engineering, indexada en Web of Science y Scopus.

Discusión

Los resultados acreditan que el dispositivo desarrollado supera las limitaciones de las tecnologías corrientemente disponibles para la evaluación de la musculatura peronea. Frente a la dinamometría isocinética, ofrece portabilidad, costo reducido y simplicidad operativa. Frente a la dinamometría de mano, ofrece aislamiento mecánico del segmento evaluado, eliminación de la influencia de la fuerza del examinador y especificidad acreditada por EMG. La aplicación clínica en pacientes con CAI demostró la capacidad del dispositivo para detectar la disfunción característica de la patología, lo que abre la posibilidad de su uso en (a) screening pre-temporada deportiva, (b) monitoreo del proceso de rehabilitación post-LAS y (c) decisión objetiva del alta deportiva tras una lesión. Adicionalmente, el dispositivo se ha integrado como instrumento de medición de fuerza en dos estudios posteriores de la línea CEMFoC–UDEBOM/UGR sobre estructura ósea y mecanostato, en los que ha demostrado su versatilidad como herramienta de investigación más allá del contexto clínico kinesiológico original.

Conclusión

El PID ha cumplido íntegramente con todos sus objetivos específicos. El nuevo dispositivo dinamométrico para evaluación isométrica de los abductores/rotadores externos del complejo tobillo- pie ha sido formalmente validado en términos de confiabilidad métrica y especificidad funcional electromiográfica, con publicación con referato externo en revista Q1 del campo (Journal of Biomechanics, DOI 10.1016/j.jbiomech.2026.113287). Se han demostrado su sensibilidad diagnóstica en pacientes con inestabilidad crónica de tobillo (Premio "Posters a Premio", XIV Congreso AKD 2024) y su utilidad como instrumento de investigación en estudios subsiguientes sobre estructura ósea (IOF Tokio 2025; OSTEO 2025). El dispositivo se encuentra hoy disponible para transferencia a la práctica clínica y a la investigación, configurando el cumplimiento operativo de los objetivos de transferencia del PID.

Palabras claves

Dinamometría isométrica; tobillo; eversión/abducción; esguince lateral; inestabilidad crónica de tobillo (CAI); electromiografía de superficie; músculos peroneos; confiabilidad test-retest.