



REVISTA ESPAÑOLA DE PODOLOGÍA

Publicación Oficial del Consejo General de Colegios Oficiales de Podólogos

Artículo Aceptado para su pre-publicación / Article Accepted for pre-publication

Título / Title:

La tenosinovitis ecográfica de tobillo está asociada a la alteración funcional del pie: un estudio transversal / Ultrasound-detected ankle tenosynovitis is associated with foot function disorders: A cross-sectional study

Autores / Authors:

Anna Tribó Crespo, César Díaz Torné, Patricia Moya Alvarado, Francesc Monés Serrano

DOI: [10.20986/revesppod.2024.1692/2024](https://doi.org/10.20986/revesppod.2024.1692/2024)

Instrucciones de citación para el artículo / Citation instructions for the article:

Tribó Crespo Anna, Díaz Torné César, Moya Alvarado Patricia, Monés Serrano Francesc. La tenosinovitis ecográfica de tobillo está asociada a la alteración funcional del pie: un estudio transversal / Ultrasound-detected ankle tenosynovitis is associated with foot function disorders: A cross-sectional study. Rev. Esp. Pod. 2024. doi: 10.20986/revesppod.2024.1692/2024.



Este es un archivo PDF de un manuscrito inédito que ha sido aceptado para su publicación en la Revista Española de Podología. Como un servicio a nuestros clientes estamos proporcionando esta primera versión del manuscrito en estado de pre-publicación. El manuscrito será sometido a la corrección de estilo final, composición y revisión de la prueba resultante antes de que se publique en su forma final. Tenga en cuenta que durante el proceso de producción se pueden dar errores lo que podría afectar el contenido final.



ORIGINAL

Artículo bilingüe español / inglés

Rev Esp Podol. 2024;xx(x):xx-xx

DOI: <http://dx.doi.org/10.20986/revesppod.2024.1692/2024>

La tenosinovitis ecográfica de tobillo está asociada a la alteración funcional del pie: un estudio transversal

Ultrasound-detected ankle tenosynovitis is associated with foot function disorders: a cross-sectional study

Anna Tribó Crespo¹, César Díaz Torné², Patricia Moya Alvarado² y Francesc Monés Serrano

¹Dpto. de Biomecànica. Centre Podològic Monés. Badalona, Barcelona, España. ²Servei de Reumatologia. Hospital de la Santa Creu y Sant Pau. Barcelona, Barcelona. ³Servei d'Endocrinologia i Nutrició. Hospital Germans Trias i Pujol. Badalona, Barcelona, España

Palabras clave:

Análisis cinético, presión plantar, estudio de la marcha, tendinopatía, tenosinovitis de tobillo, ecografía de pie.

Resumen

Introducción: Este estudio tiene como objetivo explorar la asociación de los trastornos estáticos y dinámicos del pie con la tendinopatía ecográfica del tobillo, más específicamente del tendón del tibial posterior y los tendones peroneos del tobillo, en sujetos sanos.

Pacientes y métodos: Se diseñó un estudio descriptivo, analítico, transversal que se llevó a cabo en la Unidad de Reumatología del Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, Barcelona. Se registró la edad, sexo, índice de postura del pie (FPI-6), índice cinético del pie (FKI) y la característica patológica ecográfica, del tendón del tibial posterior y de los tendones peroneos. Se utilizó la regresión logística para evaluar la probabilidad de que los trastornos posturales y/o funcionales del pie estén relacionados con los hallazgos ecográficos de patología.

Resultados: La asociación entre las características ecográficas de tenosinovitis y el trastorno dinámico resultó estadísticamente significativa ($p = 0.00$). La asociación entre la afección ecográfica y los trastornos simultáneos, estáticos y dinámicos, del pie también fue estadísticamente significativa ($p = 0.03$). La hiperpronación dinámica se asocia a la tenosinovitis del tendón tibial posterior ($p = 0.012$). Se realizó un análisis complementario, de carácter exploratorio, para valorar la probabilidad de asociación entre trastorno dinámico y tendinopatía de tobillo que mostró un odds ratio de 5.9.

Conclusiones: Este estudio transversal informa sobre la asociación entre trastornos de la función del pie y características ecográficas de tobillo. El FKI destaca como diagnóstico numérico capaz de detectar factores de riesgo de patología inflamatoria del tobillo.

Keywords:

Kinetic assessment, plantar pressures, gait analysis, tendinopathy, ankle tenosynovitis, foot ultrasound.

Abstract

Introduction: This study aims to explore the association of static and dynamic foot disorders with ankle tendinopathy measured by ultrasound, more specifically of tibialis posterior tendon and peroneal ankle tendons, in healthy subjects.

Patients and methods: A cross-sectional descriptive and analytical study was designed and carried out in Rheumatology Unit, Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, Barcelona. For each participant were registered: age, sex, Foot Posture Index (FPI-6), Foot Kinetic Index (FKI) and tibialis posterior and peroneals tendons ultrasound pathological features. Logistic regression was used to evaluate the likelihood that postural or/and functional foot disorders is related to ankle sonographic features.

Results: Association between ultrasound tenosynovitis features and dynamic disorder resulted statistically significant ($p = 0.00$). Association between ultrasound affection and simultaneous, static and dynamic, foot disorders was also statistically significant ($p = 0.03$). Dynamic's overpronation is associated to tibialis posterior tendon tenosynovitis ($p = 0.012$). Dynamic disorders were associated with the likelihood of ankle tendinopathy in unadjusted models (OR = 5.9).

Conclusions: This cross-sectional study reports association between foot function disorders and ankle sonographic features. It highlights as a diagnostic score able to detect risk factors for inflammatory ankle pathology.

Recibido: 11/03/2024

Aceptado: 10/04/2024



0210-1238 © Los autores. 2024.
Editorial: INSPIRA NETWORK GROUP S.L.
Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC Reconocimiento 4.0 Internacional
(www.creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Correspondence:

Anna Tribó Crespo
annatrib00@gmail.com

Introducción

La teoría del estrés tisular explica que antes de una lesión o fractura de cualquier tejido, orgánico o no, sometido a cierto esfuerzo, este experimentará una serie de cambios reversibles dentro del área de deformidad elástica, o irreversibles si ya se encuentra dentro de su área de deformidad plástica, aun eliminando el estrés o sufrimiento¹. Estos cambios, que se producen en el interior de los tejidos anatómicos, como músculos o tendones², son progresivos: hipertrofia, inflamación (con aumento del fluido intersticial, visualizado específicamente en los tendones del interior de las vainas), heterogeneidad fibrilar y finalmente rotura parcial o completa. Todos estos cambios pueden verse en la ecografía, lo cual requiere una amplia curva de aprendizaje para el evaluador, si bien es un método de diagnóstico válido. Parece lógico que, para prevenir lesiones, debamos identificar primero el esfuerzo o estrés de una estructura determinada para poder evitarlo³.

Específicamente, si evaluamos patologías de los músculos y tendones estabilizadores del tobillo, debemos poder usar sistemas para detectar su sufrimiento por sobrestimulación. La exploración visual de la postura del paciente proporciona información para la evaluación estática, sin movimiento, pero no durante la marcha, ya que los movimientos ejecutados se realizan a una frecuencia mayor de la que el ojo humano es capaz de detectar. Los sistemas de evaluación biomecánica de tobillo y pie pueden ser cinemáticos⁴ (con cámaras de alta frecuencia con extracción de datos en 3D) o cinéticos (basados en registros de fuerza o presión utilizando elementos como plataformas dinamométricas o sensores de presión). Para la valoración estática del sujeto, solo se ha validado el índice de postura del pie (FPI-6). Para la valoración dinámica se han empleado diferentes variables, tanto en la exploración cinética como cinemática, si bien no se ha llegado a un consenso o validez de ningún método o valor de diagnóstico. Se enfatiza que el coste económico requerido por un laboratorio de escaneo cinemático (cámaras externas de alta frecuencia y distribución para reconstrucción 3D) es mayor que el que se necesita para la realización de escáneres cinéticos (plataformas de presión o plantillas de sensores).

Los trastornos biomecánicos, tanto estáticos como dinámicos, parecen ser los responsables del estrés de los tejidos en los músculos estabilizadores del tobillo⁵. Nuestro objetivo fue conocer con qué frecuencia eso es cuantitativamente real. En este sentido, nuestro resultado fue valorar la asociación entre la marcha patológica y el estrés tisular en el tobillo. Fue necesario elegir un valor de valoración postural y una variable de valoración dinámica, ambos capaces de detectar trastornos, con el objetivo de relacionarlos con la posible enfermedad inflamatoria.

Es necesario conocer la importancia de ciertos factores con relación a la aparición, o no, de una determinada patología para decidir si estudiarlos, o no, en futuros proyectos como posibles factores de riesgo. El hecho de no haber encontrado referencias bibliográficas sobre la relación entre estas tres observaciones en particular (trastorno postural, trastorno dinámico y afectación tendinosa), nos llevó a diseñar un estudio observacional descriptivo y analítico, con naturaleza exploratoria. El resultado general del estudio fue explorar la asociación que existe entre los trastornos dinámicos y estáticos del pie y la tendinopatía del tobillo, específicamente del tendón tibial posterior y de los tendones peroneos. Como objetivos específicos, intentamos describir la frecuencia de la variable de trastorno postural para sus tres posibles categorías (pronado, supinado y neutro),

así como la frecuencia de la variable de trastorno dinámico, para sus tres posibles categorías (pronado, supinado y neutro), y también describir la frecuencia de las variables de enfermedad inflamatoria, mediante ecografías del tendón del tibial posterior y tendones peroneos. Luego intentamos determinar la relación estadística, fuerza y riesgo relativo entre las tres posibles variables y sus diferentes posibles categorías.

Pacientes y métodos

Este es un estudio descriptivo y analítico transversal. Los datos se recopilaron entre enero y agosto de 2017, en la ciudad de Barcelona. Los participantes en el estudio fueron reclutados entre estudiantes, profesionales, socios y familiares cercanos al "Hospital de Sant Pau i la Santa Creu" de Barcelona. Los participantes fueron reclutados de acuerdo con los siguientes criterios de selección: ser mayor de 18 años, no tener síntomas clínicos, ausencia de antecedentes de patologías osteoarticulares, antecedentes traumáticos o quirúrgicos de pie y tobillo. Se excluyó a aquellos participantes que utilizaron tratamientos con plantillas para los pies durante el último año⁶.

Se analizaron 55 participantes. El tamaño total de la muestra fue de 104 pies válidos. Cada pie fue valorado de forma independiente, aunque perteneciera al mismo participante⁷.

El tamaño de la muestra se determinó de manera no probabilística, por conveniencia para fines exploratorios. Se destaca que el tamaño de la muestra tiene suficiente poder estadístico para responder a los objetivos.

Este estudio se llevó a cabo de acuerdo con las recomendaciones contenidas en la "Declaración para mejorar la presentación de estudios observacionales en epidemiología", STROBE, Fortalecimiento de la Presentación de Estudios Observacionales en Epidemiología.

Herramientas y procedimientos

Todo hombre o mujer mayor de 18 años, sin síntomas en las extremidades inferiores, que tuviera alguna relación con el Departamento de Reumatología, fue candidato para el estudio. En una única visita para cada participante, se recopilaron los siguientes datos: características demográficas, edad, peso, altura y tratamientos médicos o podológicos, valoración postural y dinámica y ecografías del tobillo.

Valoración postural

Para valorar los trastornos posturales del pie, cada participante fue examinado en posición estática y se determinó el valor del índice de postura del pie-6 (FPI-6)^{8,9} para cada pie. Esta entrevista y la primera evaluación siempre fueron realizadas por el mismo examinador, un podólogo con más de dos años de experiencia clínica que procedió a rellenar una hoja de recopilación de datos. Esta recogida de datos fue ciega de los datos clínicos, del estudio dinámico (FKI) y de las ecografías del tobillo.

El FPI-6 es un índice validado de evaluación estática de la postura del pie para la determinación cuantitativa de la postura del paciente, mediante la observación y consecuente puntuación de 6 criterios. El FPI-6 tiene en cuenta el antepié, retropié y mediopié en los tres planos anatómicos. El sistema de puntuación utilizado es de 5 puntos de

la escala tipo Likert (de +2 a -2), donde la puntuación positiva máxima se otorgará a los criterios de mayor pronación y los valores negativos máximos a los de mayor supinación. En este sentido, el FPI se obtiene sumando las puntuaciones (-2, -1, 0, 1 o 2) dadas a cada uno de los seis criterios. Según los resultados, se clasifica como pie neutral (de 0 a 5), pronado (de 6 a 9), altamente pronado (de 10 a 12), supinado (de -1 a -4) y altamente supinado (de -5 a -12).

Valoración dinámica

Para la evaluación de trastornos dinámicos, se utilizó el índice cinético del pie (FKI). Para ello, cada participante caminaba descalzo a una velocidad cómoda. El sujeto podía caminar libremente en línea recta, en la que el grosor de la plataforma no interfiriera, en ambas direcciones, durante aproximadamente 6 metros, y realizar un mínimo de 5 repeticiones, en una habitación cómoda y ligeramente iluminada. Las presiones dinámicas del participante durante el análisis de la marcha fueron registradas utilizando una alfombra de sensores capacitivos de 49 x 49 cm (AmCube, Gargas, Francia). Se evaluaron la trayectoria del Centro de Presiones (Cop)¹⁰⁻¹² y la línea de puntos de presión máxima utilizando el software FootWorkPro, de AMCube. Se registraron varios pasos para cada pie, pero solo se guardaron los tres pasos más representativos. A partir de estos, se obtuvo el valor del índice cinético del pie (FKI). El proceso de registro y puntuación de los diferentes ítems para obtener el FKI siempre fue realizado por el mismo evaluador, un podólogo con más de quince años de experiencia clínica, y se realizó a ciegas respecto a los datos clínicos, al estudio de la postura (FPI-6) y a la evaluación por ultrasonido.

El índice cinético del pie (FKI) es un índice cuantitativo que se usa para valorar la función dinámica del pie, en base a la comparativa de la trayectoria del centro de presiones (Cop) con la ruta de presión máxima. El FKI es un método de examen clínico, no validado, para la cuantificación de la funcionalidad dinámica del pie a través de la observación y consiguiente puntuación del retropié, mediopié y antepié con respecto a las cuatro fases de la marcha: respuesta a la carga, mitad del apoyo, apoyo terminal y pre-balanceo o fase previa a la oscilación. Se trata un índice que permite puntuar los momentos de fuerza en el plano frontal, pronador y supinador, teniendo también en cuenta su duración. El sistema de puntuación del FKI da una puntuación positiva máxima a los criterios de mayor pronación y unos valores negativos máximos a los de mayor supinación. Según los resultados, se clasifica como pie neutro (de -3 a 3), pronado (de 4 a 12) y supinado (de -4 a -12).

Valoración de la tendinopatía

En cuanto a la valoración por ecografía del tobillo, se utilizó un ecógrafo de General Electric Logic 5 Pro (GE Healthcare, California, Estados Unidos) con un transductor lineal compacto de frecuencia de 10 MHz¹³. Para la evaluación de la tendinopatía, se observó la ecoestructura del tendón, clasificándola como homogénea o heterogénea. También se valoró si había o no rotura y, en caso afirmativo, se clasificó como parcial o total. Finalmente, se describió si se observaba un aumento de líquido en las vainas tendinosas, considerando como normal el hallazgo de hasta 1.5 mm de líquido en las vainas, y la identificación de una anchura de acumulación de líquido en las vainas > 1.5 mm como patológica y representativa de inflamación.

La presencia de cualquiera de las alteraciones mencionadas se consideró positiva para la variable “tenosinovitis detectada por ecografía”. La ecografía del tobillo se realizó en todos los planos anatómicos. Se tuvieron en cuenta el tendón tibial posterior¹⁴ y los tendones del peroneo largo y corto de los compartimentos medial y lateral del tobillo, respectivamente. Tanto la exploración, la evaluación como el registro de datos fueron realizados por un reumatólogo ecografista con más de ocho años de experiencia, y se realizó a ciegas respecto a los datos clínicos, al estudio de la postura (FPI-6) y al conjunto de datos cinéticos (FKI).

Variabes de resultado

Las variables de resultado primarias fueron categóricas: trastorno postural existente o no, trastorno dinámico existente o no, y enfermedad inflamatoria de los tendones tibial posterior y/o peroneos existente o no.

Las variables de resultado secundarias fueron: la edad del paciente, como variable continua, y la clasificación del pie, tanto estática como dinámica, en pie pronado, supinador o neutro, resultando así en tres categorías.

Análisis estadístico

Se utilizaron la base de datos de Excel y el paquete de software estadístico SPSS, 24.0® (IBM® Estados Unidos). Se realizó un análisis descriptivo de las variables, frecuencias para las categóricas y moda, mediana y desviación estándar para las variables continuas. Para analizar la asociación estadística entre la variable de patología detectada en la ecográfica y las variables de trastornos estáticos o dinámicos, se utilizó la prueba de χ^2 para tablas de contingencia y el nivel de significación adoptado fue $p > 0.05$.

Se empleó la regresión logística para calcular la *odds ratio* (OR) y el intervalo de confianza del 95 % (IC) para la tendinopatía basada en trastornos posturales y/o dinámicos del pie. Se calculó, con carácter exploratorio, para encontrar la fuerza de la asociación estadística y el riesgo relativo entre las observaciones: alteraciones estáticas o dinámicas y patología detectada en la ecografía.

Se empleó la regresión logística binaria no ajustada para calcular la *odds ratio* entre los trastornos estáticos o dinámicos o ambos (como exposición) y la patología detectada en la ecografía (como resultado). A partir de ahí, se obtuvo la *odds ratio* (OR) como el riesgo de aparición o no de tendinopatía del tibial posterior y/o peroneal en función de si el participante presentaba o no trastornos estáticos o dinámicos. Para cada modelo de regresión logística binaria, se tuvo en cuenta su bondad de ajuste y los intervalos de confianza, y se verificó la calibración utilizando la prueba de Hosmer-Lemeshow.

Resultados

Se registraron 104 pies de 52 participantes. Las mujeres representaron el 67,3 % de la muestra. La media de edad fue de 42.17 años (19-88).

La frecuencia de aparición de patología detectada en la ecografía entre los 104 pies estudiados fue del 45.2 % (47 pies). Treinta y cinco pies presentaron tenosinovitis del tendón tibial posterior detectada

Tabla I. Frecuencias e importancia de las principales variables

| | | | Ecografía sana | Tenosinovitis detectada por ecografía | Total | Valor p |
|-------------|---|----------------|----------------|---------------------------------------|-------------|---------------|
| FPI-6 | Postura correcta | FPI=[0,5] | 29 (50.9 %) | 22 (46.8 %) | 51 (49 %) | |
| | Trastorno postural | FPI<0 o FPI>5 | 28 (49.1 %) | 25 (53.2 %) | 53 (51 %) | |
| | Total | | 57 (100 %) | 47 (100 %) | 104 (100 %) | NS (0.68) |
| FKI | Dinámica correcta | FKI=[-3,3] | 26 (45.6 %) | 6 (12.8 %) | 32 (30.8 %) | |
| | Trastorno dinámico | FKI<-3 o FKI>3 | 31 (54.4 %) | 41 (87.2 %) | 72 (69.2 %) | |
| | Total | | 57 (100 %) | 47 (100 %) | 104 (100 %) | 0.000* |
| FPI-6 y FKI | Defecto no simultáneo (estático y dinámico) | | 43 (75.4 %) | 26 (55.3 %) | 69 (66.3 %) | |
| | Trastorno simultáneo | | 14 (24.6 %) | 21 (44.7 %) | 35 (33.7 %) | |
| | Total | | 57 (100 %) | 47 (100 %) | 104 (100 %) | 0.031* |

FKI: índice cinético del pie. FPI: índice de postura del pie. NS: no significativo.

mediante ecografía, 12 pies afectación de los tendones peroneos y 3 pies patología simultánea de ambas estructuras.

La frecuencia de trastorno postural (FPI-6) dentro de la muestra fue del 51 % (53 pies), de los cuales 41 pies presentaban una excesiva pronación estática y 12 pies una excesiva supinación estática. Se observó trastorno dinámico (FKI) en el 69,2 % (72 pies), 57 pies mostraron una pronación dinámica excesiva y 15 pies una supinación dinámica excesiva. También se registró simultáneamente la frecuencia del defecto postural y funcional (de ambos índices: FKI y FPI-6) dando un resultado del 33,7 % (35 de los 104 pies en estudio).

En cuanto a la relación observada entre las tres variables principales entre sí, a través de tablas de contingencia, la relación entre el trastorno dinámico (FKI) y la tenosinovitis detectada por ecografía resultó estadísticamente significativa ($p = 0.000$), hallándose que 41 (87.2 %) de los 47 pies con patología detectada en la ecografía también presentaron trastorno dinámico (FKI) (Tabla I).

La relación observada entre el trastorno estático y la patología detectada en la ecografía no fue estadísticamente significativa ($p = 0.68$) y confirmó que solo 25 (53.2 %) de los 47 pies con patología detectada en la ecografía presentaron trastorno estático (FPI). Tampoco se observó significancia estadística ($p = 0.89$) en la relación existente entre la alteración estática y alteración dinámica del pie. También se analizó la asociación entre la patología detectada en la ecografía y el trastorno simultáneo, tanto estático como dinámico del pie, que también fue estadísticamente significativa ($p = 0.031$). De los 47 pies con tenosinovitis detectada por ultrasonido, 21 pies (44.7 %) presentaron trastorno simultáneo de FPI-6 y FKI (Tabla I).

Se estudió la relación existente entre la tenosinovitis del tendón tibial posterior detectada por ecografía y el trastorno de pronación. Lo mismo ocurrió con la correspondencia entre la afectación de tendones peroneos y el trastorno de supinación. Los resultados mostraron que solo la queja de pronación dinámica se asoció con la tenosinovitis detectada del tendón tibial posterior por ecografía ($p = 0.012$). Otras relaciones no fueron estadísticamente significativas (Tabla II).

Según el modelo de regresión logística binaria no ajustada empleado, se observó una tendencia significativa hacia una mayor probabilidad de tendinopatía del tobillo en participantes con marcha

patológica. Las probabilidades no ajustadas de tendinopatía en pies con alteraciones dinámicas fueron OR = 5.9 (IC del 95 %: 2.15-16.26) frente a pies con marcha correcta ($p = 0.001$). Otros resultados de regresiones logísticas binarias, para trastornos estáticos o ambos trastornos en relación con la patología detectada por ecografía, no tuvieron significación estadística alguna.

Discusión

Este estudio mostró una asociación estadísticamente significativa entre los trastornos dinámicos y la tendinopatía del tobillo medida ecográficamente, un hallazgo que coincide con nuestra hipótesis de trabajo. El 87.2 % de los pies con trastornos dinámicos presentan tenosinovitis en la ecografía. Por su parte, el 44.7 % de los pies con ambos, trastornos estáticos y dinámicos, presentan tenosinovitis detectada en la ecografía. No obstante, los trastornos estáticos no presentan relación estadística alguna con la tendinopatía del tobillo, un nuevo abordaje biomecánico.

Los pies con trastorno dinámico podrían tener más probabilidades de presentar tendinopatías desde el punto de vista ecográfico. Esta podría ser la primera publicación sobre trastornos dinámicos como factor de riesgo para desarrollar tendinopatías. Algunos autores han buscado relaciones entre la postura estática y dinámica del pie y la biomecánica de la carrera, tal y como asegura la revisión realizada por Hollander¹⁵. En cualquier caso, en la literatura médica existente, no hay antecedentes que nos impulsen a buscar relaciones entre estos dos trastornos (marcha patológica y tendinopatías del tobillo).

Nuestros hallazgos otorgan credibilidad al índice cinético del pie (FKI) para determinar trastornos dinámicos del pie, por lo que podría considerarse como una medida innovadora de la marcha. Será necesario desarrollar nuevos ensayos para evaluar la sensibilidad y especificidad del índice cinético del pie (FKI) como método diagnóstico. Las progresiones y características del COP se han estudiado en la literatura antes, pero su observación no ha demostrado ser capaz de diagnosticar trastornos dinámicos durante la marcha¹⁶.

Tabla II. Frecuencias e importancia de las variables de categorías.

| | Tendón tibial posterior sano según ecografía | Tenosinovitis tibial posterior detectada por ecografía | Total | Valor p |
|-------------------------|--|--|-------------|---------------|
| Dinámica pronada (FKI) | 26 (44.1 %) | 31 (68.9 %) | 57 (54.8 %) | |
| Sin trastorno | 33 (55.9 %) | 14 (31.1 %) | 47 (45.2 %) | |
| Total | 59 | 45 | 104 | 0.012* |
| Estática pronada (FPI) | 20 (33.9 %) | 21 (46.7 %) | 41 (39.4 %) | |
| Sin trastorno | 39 (66.1 %) | 24 (53.3 %) | 63 (60.6 %) | |
| Total | 59 | 45 | 104 | NS (0.18) |
| | Peroneo sano según ecografía | Tenosinovitis del peroneo detectada por ecografía | Total | Valor p |
| Dinámica supinada (FKI) | 10 (12.2 %) | 5 (22.7 %) | 15 (14.4 %) | |
| Sin trastorno | 72 (87.8 %) | 17 (77.3 %) | 89 (85.6 %) | |
| Total | 82 | 22 | 104 | NS (0.21) |
| Estática supinada (FPI) | 8 (9.8 %) | 4 (18.2 %) | 12 (11.5 %) | |
| Sin trastorno | 74 (90.2 %) | 18 (81.8 %) | 92 (88.5 %) | |
| Total | 82 | 22 | 104 | NS (0.27) |

FKI: índice cinético del pie. FPI: índice de postura del pie. NS: no significativo.

Las implicaciones de nuestros hallazgos son importantes por varias razones. En primer lugar, porque es necesario tener un valor cuantificable de los trastornos dinámicos tanto en el campo de la investigación como dentro de la práctica clínica destinada a determinar diagnósticos específicos. El índice cinético del pie nos ofrece precisamente eso. En segundo lugar, los resultados sugieren que tanto la toma de decisiones clínicas como el diseño de tratamientos se deben centrar en modificar los trastornos dinámicos. En tercer lugar, los trastornos dinámicos son un factor modificable que podría ser una diana para estrategias preventivas para atenuar las complicaciones de la tendinopatía, sobre todo en campos como la reumatología, la pediatría o la medicina deportiva. Controlar los factores de riesgo mejora los resultados de salud.

Nuestro estudio no está exento de limitaciones. Los hallazgos de las ecografías registrados en este estudio fueron asintomáticos, uno de los criterios de inclusión de los participantes fue la ausencia de dolor, sin síntomas. En este sentido, analizamos una etapa inflamatoria subclínica que en el campo del diagnóstico por ecografía ya se considera un trastorno patológico a pesar de no mostrar evidencia clínica evidente. Por otro lado, es necesario llevar a cabo un estudio de cohorte que confirmen los resultados de *odds ratio* obtenidos (OR = 5.9; IC del 95 %: 2.15, 16.26) en nuestro trabajo, diseñado con carácter exploratorio, debido a la ausencia de antecedentes bibliográficos. Finalmente, la ausencia de un método de diagnóstico de la marcha dinámica validado, como gold estándar para poder realizar comparativas con el índice cinético del pie, nos llevó a diseñar este trabajo utilizando el método de diagnóstico por ecografía validado como sistema para comparar y ubicar asociaciones.

Nuestros datos vienen a reforzar varios abordajes biomecánicos nuevos e importantes. En primer lugar, no se observa que exista una relación entre una supinación estática o dinámica excesivas y patologías asociadas a los tendones peroneos, compartimento externo del tobillo. En segundo lugar, tampoco se observa una relación entre una

pronación estática excesiva y la patología del tendón tibial posterior, compartimento interno del tobillo, aunque sí una relación entre una pronación dinámica excesiva y patologías del tendón tibial posterior detectada por ecografía. En tercer lugar, la asociación más alta (87.2 %, $p = 0.000$) se observa entre los trastornos dinámicos (en pronación, supinación o ambos) y la patología detectada por ecografía (para el tendón tibial posterior, los tendones peroneos o ambos). Los resultados sugieren que el control de los movimientos del tobillo en el eje sagital, pronación o supinación, no está regulado por un único grupo muscular tendinoso, del compartimento interno o externo del tobillo, respectivamente, sino que ambos son capaces de estabilizar los defectos de pronación/supinación. No obstante, los resultados vienen a confirmar que tal vez el que juega un papel más preponderante sea el tendón tibial posterior porque parece ser el que sufre más estrés o sobrecarga. Quizás por esta razón sea el tendón diana de lesiones de patología osteoartítica.

En lo referente a las limitaciones y perspectivas de investigación de este artículo, destacamos que el índice cinético del pie (FKI) no es un índice validado. No pudimos encontrar ningún índice de evaluación validado ni ningún sistema diagnóstico de los trastornos dinámicos en la literatura científica. Existen criterios de clasificación patológica en función de los rangos de movilidad articular registrados por videocámaras de alta frecuencia, incluida la construcción de modelos en 3D para realizar valoraciones dinámicas. Consideramos, no obstante, excesivo el coste económico y la inversión de tiempo que estos sistemas de examen requieren, por lo que abogamos por la incorporación de un método de diagnóstico clínico asequible y extrapolable a patologías dinámicas, como el índice cinético del pie.

Confirmamos que los registros y evaluaciones fueron realizados exclusivamente por un único observador, para cada uno de ellos, por lo que la validez entre observadores no se pudo comparar. Debemos aclarar, no obstante, que este no fue el objetivo de nuestro estudio.

Consideramos que los modelos de regresión logística realizados en este estudio tienen la solidez necesaria para proporcionar datos iniciales que podrían ayudar a diseñar, basándose en ellos, otros estudios observacionales analíticos o cohortes o casos y controles, capaces de determinar los factores de riesgo y sus respectivos OR.

En conclusión, los trastornos de la función del pie durante la marcha están estadísticamente asociados a la tenosinovitis del tendón tibial posterior y/o peroneales detectada por ecografía. No se ha encontrado que los trastornos posturales del pie estén asociados a la patología tendinosa del tobillo detectada por ecografía. La tenosinovitis del tendón tibial posterior detectada por ecografía se asocia a la sobrepronación dinámica del pie y el tobillo durante la marcha. Los trastornos de la función del pie aumentan la probabilidad de tenosinovitis del tobillo detectada por ecografía. Una medida innovadora de la marcha, el índice cinético del pie, parece ser un puntaje diagnóstico capaz de detectar trastornos dinámicos. Esto requiere un proceso de validación, con diferentes sistemas de presión, un tamaño de muestra más grande y un diseño multicéntrico. Después de eso, el FKI podría emplearse como herramienta diagnóstica para facilitar la toma de decisiones clínicas y mejorar los tratamientos.

Agradecimientos

Agradecemos a Joan Teva su excelente trabajo, paciencia e interés desinteresados. Recopiló datos de evaluación estática de todos los participantes, siempre de forma rigurosa y eficiente; a la Dra. María Teresa Puig Reixach su disponibilidad y rigor científico en la realización de valoraciones críticas y mejora tanto del diseño como de la versión definitiva del presente estudio; a la Dra. Carmen Moragues su esfuerzo de tiempo en la recopilación inicial de muestras recogidas por ecografía.

Aprobación ética y consentimiento para participar

La aprobación ética para este estudio se solicitó al CEIC del "Institut de Recerca de l'Hospital de la Santa Creu i Sant Pau", en Barcelona. Número de código: IIBSP-KPE-2017-48. Ref. HSCSP: 17/281 (OBS). Se solicitó autorización de la dirección del Departamento de Reumatología y se recopiló el consentimiento informado firmado de cada participante, antes de su aceptación formal como participante en el estudio, proporcionando una copia.

Financiación

Esta investigación no recibió ninguna subvención del sector público ni privado.

Declaraciones de interés

Ninguna.

Conflicto de intereses

Todos los autores declaran no tener ninguna relación financiera ni de otro tipo que pudiese llevar a un conflicto de intereses relacionado con este trabajo. Los autores son los únicos responsables del contenido y la redacción del manuscrito. Tampoco hay conflictos de intereses entre ninguno de los autores del presente artículo.

Disponibilidad de datos y materiales

El conjunto de datos utilizado y/o analizado durante el estudio actual está disponible gracias al autor de correspondencia bajo solicitud razonable.

Contribución de los autores

Concepción y diseño del estudio: ATC, CDT.
Recopilación de datos: ATC, PMA, FMS.

Análisis e interpretación de resultados: ATC, FMS.

Creación, redacción y preparación del borrador inicial del artículo: ATC.

Revisión y aceptación versión final previa publicación: ATC, CDT, PMA, FMS.

Bibliografía

- Zhu Y, Kang G, Yu C, Poh LH. Logarithmic rate based elasto-viscoplastic cyclic constitutive model for soft biological tissues. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2016;61:397-409. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2016.03.014.
- Criscenti G, De Maria C, Sebastiani E, Tei M, Placella G, Speziali A, et al. Quasi-linear viscoelastic properties of the human medial patello-femoral ligament. *J Biomech*. 2015;48(16):4297-302. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2015.10.042.
- Thijs Y, De Clercq D, Roosen P, Witvrouw E. Gait-related intrinsic risk factors for patellofemoral pain in novice recreational runners. *Br J Sports Med*. 2008;42(6):466-71. DOI: 10.1136/bjism.2008.046649.
- Sanchis-Sales E, Sancho-Bru JL, Roda-Sales A, Pascual-Huerta J. Dynamic Flexion Stiffness of Foot Joints During Walking. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2016;106(1):37-46. DOI: 10.7547/14-141.
- Dowling GJ, Murley GS, Munteanu SE, Smith MM, Neal BS, Griffiths IB, et al. Dynamic foot function as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review. *J Foot Ankle Res*. 2014;7(1):53. DOI: 10.1186/s13047-014-0053-6.
- Van der Leeden M, Steultjens M, Dekker JH, Prins AP, Dekker J. Forefoot joint damage, pain and disability in rheumatoid arthritis patients with foot complaints: the role of plantar pressure and gait characteristics. *Rheumatology (Oxford)*. 2006;45(4):465-9. DOI: 10.1093/rheumatology/kei186.
- Rokkedal-Lausch T, Lykke M, Hansen MS, Nielsen RO. Normative values for the foot posture index between right and left foot: a descriptive study. *Gait Posture*. 2013;38(4):843-6. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2013.04.006.
- Murley GS, Landorf KB, Menz HB, Bird AR. Effect of foot posture, foot orthoses and footwear on lower limb muscle activity during walking and running: a systematic review. *Gait Posture*. 2009;29(2):172-87. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2008.08.015.
- Redmond AC, Crane YZ, Menz HB. Normative values for the Foot Posture Index. *J Foot Ankle Res*. 2008;1(1):6. DOI: 10.1186/1757-1146-1-6.
- Wong L, Hunt A, Burns J, Crosbie J. Effect of foot morphology on center-of-pressure excursion during barefoot walking. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2008;98(2):112-7. DOI: 10.7547/0980112.
- De Cock A, Vanrenterghem J, Willems T, Witvrouw E, De Clercq D. The trajectory of the centre of pressure during barefoot running as a potential measure for foot function. *Gait Posture*. 2008;27(4):669-75. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2007.08.013.
- Lugade V, Kaufman K. Center of pressure trajectory during gait: a comparison of four foot positions. *Gait Posture*. 2014;40(4):719-22. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2014.07.001.
- Arnoldner MA, Gruber M, Syr s S, Kristen KH, Trnka HJ, Kainberger F, et al. Imaging of posterior tibial tendon dysfunction--Comparison of high-resolution ultrasound and 3T MRI. *Eur J Radiol*. 2015;84(9):1777-81. DOI: 10.1016/j.ejrad.2015.05.021.
- Rabbito M, Pohl MB, Humble N, Ferber R. Biomechanical and clinical factors related to stage I posterior tibial tendon dysfunction. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2011;41(10):776-84. DOI: 10.2519/jospt.2011.3545.
- Hollander K, Zech A, Rahlf AL, Orendurff MS, Stebbins J, Heidt C. The relationship between static and dynamic foot posture and running biomechanics: A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture*. 2019;72:109-122. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2019.05.031.
- Buldt AK, Forghany S, Landorf KB, Murley GS, Levinger P, Menz HB. Centre of pressure characteristics in normal, planus and cavus feet. *J Foot Ankle Res*. 2018;11:3. DOI: 10.1186/s13047-018-0245-6.



ORIGINAL

Bilingual article English/Spanish

Rev Esp Podol. 2024;xx(x):xx-xx

DOI: <http://dx.doi.org/10.20986/revesppod.2024.1692/2024>

Ultrasound-detected ankle tenosynovitis is associated with foot function disorders: a cross-sectional study

La tenosinovitis ecográfica de tobillo está asociada a la alteración funcional del pie: un estudio transversal

Anna Tribó Crespo¹, César Díaz Torné², Patricia Moya Alvarado² y Francesc Monés Serrano

¹Dpto. de Biomecànica. Centre Podològic Monés. Badalona, Barcelona, España. ²Servei de Reumatologia. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau. Barcelona, Barcelona. ³Servei d'Endocrinologia i Nutrició. Hospital Germans Trias i Pujol. Badalona, Barcelona, España

Keywords:

Kinetic assessment, plantar pressures, gait analysis, tendinopathy, ankle tenosynovitis, foot ultrasound.

Abstract

Introduction: This study aims to explore the association of static and dynamic foot disorders with ankle tendinopathy measured by ultrasound, more specifically of tibialis posterior tendon and peroneal ankle tendons, in healthy subjects.

Patients and methods: A cross-sectional descriptive and analytical study was designed and carried out in Rheumatology Unit, Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, Barcelona. For each participant were registered: age, sex, Foot Posture Index (FPI-6), Foot Kinetic Index (FKI) and tibialis posterior and peroneals tendons ultrasound pathological features. Logistic regression was used to evaluate the likelihood that postural or/and functional foot disorders is related to ankle sonographic features.

Results: Association between ultrasound tenosynovitis features and dynamic disorder resulted statistically significant ($p = 0.00$). Association between ultrasound affection and simultaneous, static and dynamic, foot disorders was also statistically significant ($p = 0.03$). Dynamic's overpronation is associated to tibialis posterior tendon tenosynovitis ($p = 0.012$). Dynamic disorders were associated with the likelihood of ankle tendinopathy in unadjusted models (OR = 5.9).

Conclusions: This cross-sectional study reports association between foot function disorders and ankle sonographic features. It highlights as a diagnostic score able to detect risk factors for inflammatory ankle pathology.

Palabras clave:

Análisis cinético, presión plantar, estudio de la marcha, tendinopatía, tenosinovitis de tobillo, ecografía de pie.

Resumen

Introducción: Este estudio tiene como objetivo explorar la asociación de los trastornos estáticos y dinámicos del pie con la tendinopatía ecográfica del tobillo, más específicamente del tendón del tibial posterior y los tendones peroneos del tobillo, en sujetos sanos.

Pacientes y métodos: Se diseñó un estudio descriptivo, analítico, transversal que se llevó a cabo en la Unidad de Reumatología del Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, Barcelona. Se registró la edad, sexo, índice de postura del pie (FPI-6), índice cinético del pie (FKI) y la característica patológica ecográfica, del tendón del tibial posterior y de los tendones peroneos. Se utilizó la regresión logística para evaluar la probabilidad de que los trastornos posturales y/o funcionales del pie estén relacionados con los hallazgos ecográficos de patología.

Resultados: La asociación entre las características ecográficas de tenosinovitis y el trastorno dinámico resultó estadísticamente significativa ($p = 0.00$). La asociación entre la afección ecográfica y los trastornos simultáneos, estáticos y dinámicos, del pie también fue estadísticamente significativa ($p = 0.03$). La hiperpronación dinámica se asocia a la tenosinovitis del tendón tibial posterior ($p = 0.012$). Se realizó un análisis complementario, de carácter exploratorio, para valorar la probabilidad de asociación entre trastorno dinámico y tendinopatía de tobillo que mostró un odds ratio de 5.9.

Conclusiones: Este estudio transversal informa sobre la asociación entre trastornos de la función del pie y características ecográficas de tobillo. El FKI destaca como diagnóstico numérico capaz de detectar factores de riesgo de patología inflamatoria del tobillo.

Received: 11/03/2024

Accepted: 10/04/2024



0210-1238 © The Authors. 2024.
Editorial: INSPIRA NETWORK GROUP S.L.
This is an Open Access paper under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
(www.creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Correspondence:

Anna Tribó Crespo
annatrib00@gmail.com

Introduction

The tissue stress theory explains that prior to an injury, fracture, of any tissue, organic or not, subjected to a certain effort, it will undergo a series of reversible changes within the area of elastic deformity, or irreversible if it is found already within its area of plastic deformity, still eliminating stress or suffering¹. These changes, within anatomical tissues, such as muscles or tendons², are progressively; hypertrophy, inflammation (with increased interstitial fluid, visualized specifically for tendons inside the pods), heterogeneity of fibers and finally partial or complete rupture. All these changes are observable by ultrasound examination, which require a large learning curve for the evaluator, but it is a validated diagnostic method. It seems logical that to prevent injuries we must identify the effort or stress of the structure to be able to reverse it³.

Specifically, if we evaluate diseases of ankle's stabilizing muscles and tendons, we must be able to use systems for detecting its over-strengthening suffering. Visual exploration of patient's posture provides information for static evaluation, without movement, but not for information during walking, because the executed movements are performed at a frequency higher than that which the human eye is able to detect. Biomechanical ankle and foot assessment systems can be kinematic⁴ (with high frequency camera with 3D data extraction) or kinetics (based on force or pressure records using elements such as dynamometric or pressure sensor platforms). For static subject's assessment only the Foot Posture Index (FPI-6) has been validated. For dynamical assessment different variables have been used, both in kinetic and kinematic exploration but no consensus or validity of any diagnostic method or value has been reached. Emphasize that economic cost required by a kinematic scanning lab, (high-frequency external cameras and distribution for 3D reconstruction) is higher than that is required by kinetic scanning, (pressure platforms or sensor insoles).

Biomechanical disorders, both static and dynamic, seem to be responsible for the stress of tissues on ankle stabilizing muscles⁵. Our aim was to know how often that is quantitatively real. So, our outcome was to assess association between pathological gait and stress tissue on ankle. It was necessary to choose a postural assessment value and a dynamic assessment variable, both able to detect disorders, aim to relate them to the possible inflammatory disease.

It is necessary to know the importance of certain factors in relation to the appearance or not of a certain disease in order to decide whether to study them, in future projects, as possible risk factors. The fact of not having found bibliographic references on relationship between these three observations in particular (posture disorder, dynamic disorder and tendinous affection), led us to design a descriptive and analytical observational study, with exploratory nature.

The general outcome of the study was to explore the association of foot dynamic and static disorders with ankle's tendinopathy, specifically of the tibialis posterior tendon and the peroneal tendons. As specific objectives, we tried to describe the frequency of the postural disorder variable, for its three possible categories: pronated, supinated and neutral, as well as the frequency of the dynamic disorder variable, for its three possible categories: pronated, supinated and neutral, and also describe the frequency of inflammatory disease variables, by ultrasound examination of the tibialis posterior tendon and

peroneal tendons. Then we tried to determine statistical association, strength and relative risk, between the three possible variables and their different possible categories.

Patients and methods

This is a cross-sectional descriptive and analytical study. Dataset were collected between the months of January and August 2017, in the city of Barcelona, Spain. Participants in the study were recruited from among students, professionals, partners and familiars next to "Hospital de Sant Pau i la Santa Creu" from Barcelona. Participants were recruited according to the following selection criteria: being over 18 years old, having no clinical symptoms, absence of medical history for osteoarticular diseases, traumatic or surgical history of foot and ankle. Participants using foot insoles treatment during the last year⁶, were excluded.

Fifty-five participants were analysed. Total sample size results $n = 104$ valid feet. Each foot was evaluated independently, even though it belonged to the same participant⁷.

Sample size was determined in a non-probabilistic way, for convenience for exploratory purposes. Highlight that sample size has sufficient statistical power to answer the objectives.

That study was carried out in accordance with recommendations contained in the "Statement for Improving the Reporting of Observational Studies in Epidemiology", STROBE, Strengthening the Reporting of Observational studies in Epidemiology.

Tools and procedures

Any man or woman over 18 years of age, without symptoms in the lower limb, who had some relationship with the Rheumatology Department was candidate for the study. In a single visit, for each participant, the following data were collected: demographic characteristics, age, weight, height and medical or podiatric treatments, postural assessment, dynamic assessment and ankle's ultrasound examination.

Postural assessment

For evaluation of foot postural disorders, each participant was examined in static standing and the Foot Posture Index-6 (FPI-6)^{8,9} value was determined for each foot. This interview and first evaluation were always carried out by the same examiner, a podiatrist with more than two years of clinical experience, who filled in a data collection sheet. The collection was blinded of the clinical data, of the dynamic study (FKI) and of the ultrasound examination.

Foot Posture Index-6 is a validated static foot posture assessment index for the quantitative determination of the patient's posture, by observing and consequently scoring 6 criteria. FPI-6 considers fore-foot, hind foot and midfoot in the three anatomical planes. The scoring system used is the 5 points of the Likert-type scale (from +2 to -2) where the maximum positive score will be awarded to the criteria of greater pronation and the maximum negative values to those of greater supination. The FPI is therefore obtained as add up of scores (-2, -1, 0, 1 or 2) given to each of the six criteria. According to the

results it is categorized as neutral foot (from 0 to 5), pronated foot (from 6 to 9), highly pronated (from 10 to 12), supinated foot (from -1 to -4) and highly supinated foot (from -5 to -12).

Dynamic assessment

For dynamic disorders evaluation, Foot Kinetic Index (FKI) was used. For this, each participant was walking barefoot at a comfortable speed. Subject could walk free in a straight line, in which platform thickness did not interfere, in both directions, for approximately 6 meters, and minimum 5 repetitions, in a comfortable and lightly room. Dynamic participant's pressures during gait analysis were recorded using a 49 X 49 cm mat of capacitive sensors (AmCube, Gargas, France). Centre of Pressures trajectory (Cop)¹⁰⁻¹² and Maximum Pressure points line were evaluated using the FootWorkPro software, by AmCube. Several steps were recorded for each foot, but only the three most representative steps were saved. From these Foot Kinetic Index (FKI) value was obtained. Process of record and score the different items to obtain the FKI was always carried out by the same and evaluator, a podiatrist with more than fifteen years of clinical experience, and was blinded of clinical data, of posture study (FPI-6) and of ultrasound assessment.

Foot Kinetic Index (FKI) is a quantitative index to assess dynamic foot function, based on comparison of Centre of Pressure trajectory (Cop) to Maximum Pressure path. The Foot Kinetic Index (FKI) is a clinical examination method, not validated, for the quantification of the dynamic foot functionality through observation and consequent scoring of rear foot, midfoot and forefoot respect the four gait phases; loading response, midstance, terminal stance and pre-swing. It is an index that allows to score the moments of force in the frontal plane, pronator and supinator, also taking into account their duration. FKI scoring system award maximum positive score to criteria of greater pronation and maximum negative values to those of greater supination. According to the results it is categorized as neutral foot (from -3 to 3), pronated foot (from 4 to 12) and supinated foot (from -4 to -12).

Tendinopathy Assessment

Regarding ankle ultrasound evaluation, a General Electric Logic 5 Pro ultrasound machine (GE HealthCare, California, USA) with a compact linear transducer of 10 MHz frequency was used¹³. For evaluation of tendinopathy, the echo-structure of the tendon was observed, classifying it as homogeneous or heterogeneous. It was also assessed whether or not there was rupture, if so, it was classified as partial or total. Finally it was described whether or not an increase in fluid was observed in tendon sheaths, considering the finding of up to 1.5mm of fluid in sheaths as normal, and identification of a width of fluid accumulation in sheaths greater than 1.5 mm as pathological, representative of inflammation. The presence of any of the above alterations was considered positive for the variable; "Ultrasound-detected tenosynovitis". Ankle ultrasound examination was performed in all anatomical planes. Tibialis posterior tendon¹⁴ and the tendons of the peroneus longus and brevis muscles of the medial and lateral ankle compartments, respectively, were considered. Both the exploration, the evaluation and data recording were carried out by a rheumatologist sonographer with more than eight years of experience,

and it was blinded to the clinical data, to the study of posture (FPI-6) and to kinetics dataset (FKI).

Variables of study

Primary outcome variables were categorical; Postural disorder existing or not, dynamic disorder existing or not, and inflammatory disease of Tibialis posterior and/or Peroneal tendons existing or not.

Secondary outcome variables were; patient's age, as a continuous variable, and the foot classification, both static and dynamic, in pronated foot, supinator foot or neutral foot, thus resulting in three categories.

Statistical analysis

Excel database and the statistical package SPSS, 24.0® (IBM®, USA) were used. Descriptive analysis of the variables, frequencies for the categorical and mode, median and standard deviation for the continuous one was performed. To analyse statistical association between ultrasound disease variable and static or dynamic disorders variables, the Chi-square test for contingency tables was used, the level of significance adopted was $p > 0.05$.

Logistic regressions was used to calculate the odds ratio (OR) and 95 % confidence interval (CI) for tendinopathy based on postural or/ and dynamic foot disorders. It was calculated, with exploratory character, aimed to find statistical association strength and relative risk between the observations: static or dynamic alterations and ultrasound disease.

A binary logistic regression unadjusted was used to calculate Odds ratio between static or dynamic disorders or both (as exposure) and ultrasound disease (as outcome). From this was obtained the Odds Ratio (OR) as the risk of appearing or not posterior Tibialis and/ or Peroneal tendinopathy depending on whether or not the participant presented static or dynamic disorders. For each binary logistic regression model, its goodness of fit and the confidence intervals were taken into account, and the calibration was verified using the Hosmer-Lemeshow test.

Results

We registered 104 feet from 52 participants. Women were 67.3 % of the sample. Mean age was 42.17 years, (19-88).

Frequency of appearance of ultrasound disease among the 104 feet studied was 45.2 % (47 feet). Thirty-five feet presented tibialis posterior ultrasound-detected tenosynovitis, 12 feet showed peroneals tendons ultrasound affection, and 3 feet simultaneous disease of both structures.

Frequency of postural disorder (FPI-6) within the sample was 51 % (53 feet), of these 41 feet had excessive static pronation and 12 feet had excessive static supination. Dynamic disorder (FKI), appeared in 69.2 % (72 feet), 57 feet in excessive dynamic pronation and 15 feet in excessive dynamic supination. Frequency of simultaneous postural and functional defect (of both indices: FKI and FPI-6) was also recorded, resulting in 33.7 % (35 feet from the 104 studied).

Regarding association between the three main variables to each other, through contingency tables, association between dynamic disorder

Table I. Frequencies and significance of the main variables.

| | | | Healthy ultrasound | Tenosynovitis ultrasound-det | Total | p value |
|-------------|---|-----------------|--------------------|------------------------------|-------------|---------------|
| FPI-6 | Correct posture | FPI=[0,5] | 29 (50,9 %) | 22 (46,8 %) | 51 (49 %) | |
| | Postural disorder | FPI<0 or FPI>5 | 28 (49,1 %) | 25 (53,2 %) | 53 (51 %) | |
| | Total | | 57 (100 %) | 47 (100 %) | 104 (100 %) | NS (0,68) |
| FKI | Correct dynamics | FKI=[-3,3] | 26 (45,6 %) | 6 (12,8 %) | 32 (30,8 %) | |
| | Dynamic disorder | FKI<-3 or FKI>3 | 31 (54,4 %) | 41 (87,2 %) | 72 (69,2 %) | |
| | Total | | 57 (100 %) | 47 (100 %) | 104 (100 %) | 0,000* |
| FPI-6 & FKI | Not simultaneous defect, (static and dynamic) | | 43 (75,4 %) | 26 (55,3 %) | 69 (66,3 %) | |
| | Simultaneous disorder | | 14 (24,6%) | 21 (44,7%) | 35 (33,7%) | |
| | Total | | 57 (100 %) | 47 (100 %) | 104 (100 %) | 0,031* |

FPI: Foot Posture Index. FKI: Foot Kinetic Index. NS: Non significant.

der (FKI) and ultrasound-detected tenosynovitis appeared statistically significant ($p = 0.000$), finding that for 47 feet with ultrasound disease 41 feet (87.2 %) also presented dynamic disorder (FKI). (Table I).

Association between static disorder and ultrasound disease was not statistically significant ($p = 0.68$), and showed that for the 47 feet with ultrasound disease only 25 feet (53.2 %) presented static disorder (FPI). There was not statistical significance ($p = 0.89$) in the association between static alteration and dynamic alteration of the foot.

Association between ultrasound disease and simultaneous disorder, both static and dynamic of the foot, was also analysed, and it was also statistically significant ($p = 0.031$). For 47 feet with ultrasound-detected tenosynovitis, 21 feet (44.7%) presented simultaneous disorder of FPI-6 and FKI (Table I).

Association between tibialis posterior ultrasound-detected tenosynovitis and pronation disorder was studied. The same with the correspondence between peroneal tendons ultrasound affection and supination disorder. Results showed that only dynamic pronation complaint association to tibialis posterior ultrasound-detected tenosynovitis. ($p = 0.012$). Other associations were not statistically significant (Table II).

Based on unadjusted binary logistic regression model there was a significant trend for higher likelihood of ankle tendinopathy across participants with pathological gait. The unadjusted odds of tendinopathy in dynamic alterations feet was OR = 5.9 (95 % CI 2.15-16.26) compared to correct gait feet. ($p = 0.001$). Other binary logistic regressions results, for static or both disorders respect to ultrasound disease, did not show significance.

Discussion

This study showed statistically association between dynamic disorders and ankle tendinopathy measured by ultrasound a find-

ing consistent with our hypothesis. The 87.2 % of feet with dynamic disorders have ultrasound-detected tenosynovitis. And 44.7 % of feet with both, static and dynamic disorders, have ultrasound-detected tenosynovitis. But static disorders have not statistically association to ankle tendinopathy, a new biomechanical approach.

Feet with dynamic disorder could have more likelihood of tendinopathy from an ultrasound perspective. This might be the first report of dynamic disorders as risk factor of tendinopathy. Some authors have searched relationship between static and dynamic foot posture and running biomechanics, as Hollander's review summarize¹⁵, but there are not precedents for seeking to associate these two alterations, kinetic gait disease and ankle tendinopathy, in literature.

Our findings grant credibility to Foot Kinetic Index (FKI) to determine dynamic foot disorders, so it could be considered as an innovative measurement of gait. It will be necessary to develop new trials to assess sensitivity and specificity of Foot Kinetic Index (FKI) as a diagnostic method. Cop progressions and characteristics have been studied in literature before but it's observation has not been shown to be able to diagnose dynamic disorders during walking¹⁶.

Implications of our findings are important for several reasons. First, because it is necessary to have a quantifiable value of the dynamic alteration both in the field of the research and within clinical practice aimed at determining specific diagnoses. Foot Kinetic Index offers that. Second, clinical decision-making and treatment designs need to be focused on modifying dynamic alterations, results suggest it. Third, like dynamic alteration is a modifiable factor that could be a target for preventive strategies to attenuating tendinopathy complications, especially in fields like rheumatology, paediatric or sports medicine. To control risk factors improve health outcomes.

Our study is not without limitations. Ultrasound findings recorded in this study were asymptomatic, one of the criteria for inclusion of participants was no pain, no symptoms. Therefore we analysed a sub-clinical inflammatory stage that in the field of ultrasound diagnosis

Table II. Frequencies and significance of categories variables.

| | Tibialis posterior healthy ultrasound | Tibialis posterior tenosynovitis ultrasound-det | Total | p value |
|--------------------------|--|--|--------------|----------------|
| Pronated dynamics (FKI) | 26 (44,1 %) | 31 (68,9 %) | 57 (54,8 %) | |
| Not disorder | 33 (55,9 %) | 14 (31,1 %) | 47 (45,2 %) | |
| Total | 59 | 45 | 104 | 0,012* |
| Pronated statics (FPI) | 20 (33,9 %) | 21 (46,7 %) | 41 (39,4 %) | |
| Not disorder | 39 (66,1 %) | 24 (53,3 %) | 63 (60,6 %) | |
| Total | 59 | 45 | 104 | NS (0,18) |
| | Peroneus healthy ultrasound | Peroneus tenosynovitis ultrasound-det | | |
| Supinated dynamics (FKI) | 10 (12,2 %) | 5 (22,7 %) | 15 (14,4 %) | |
| Not disorder | 72 (87,8 %) | 17 (77,3 %) | 89 (85,6 %) | |
| Total | 82 | 22 | 104 | NS (0,21) |
| Supinated statics (FPI) | 8 (9,8 %) | 4 (18,2 %) | 12 (11,5 %) | |
| Not disorder | 74 (90,2) | 18 (81,8 %) | 92 (88,5 %) | |
| Total | 82 | 22 | 104 | NS (0,27) |

FKI: Foot Kinetic Index. FPI: Foot Posture Index. NS: Non significan.

is already considered a pathological alteration despite not showing obvious clinical evidence. At the same, it is necessary to carry out a cohort study to confirm Odd Ratio results obtained (OR = 5.995 % CI: 2.15,16.26) in our work, designed with exploratory character, due to absence of bibliographic precedents. Moreover, the non-existence of a validated dynamic gait diagnostic method, such as a gold standard for comparisons with Foot kinetic Index, led us to design this work using the validated ultrasound diagnostic method as a system for comparing with and locating associations.

Our data reinforce several important new biomechanical approaches. First, there is not association between excessive static or dynamic supination and peroneals tendons disease, external ankle compartment. Second, there is not association between excessive static pronation and Posterior Tibialis tendon disease, internal ankle compartment, but there is association between excessive dynamic pronation with Tibialis posterior ultrasound disease. Third, the highest association (87.2 %, p = 0.000) is between dynamic disorder (in pronation, in supination or both) and ultrasound disease (for Tibialis posterior, for Peroneus tendons, or for both). Results suggest that ankle movements control in sagittal axis, pronation or supination, are not regulated by a single tendon muscle group, of the internal compartment or external compartment of the ankle, respectively, but that both are capable of stabilizing prone/supination defects. However, results show maybe the most responsible in that role is Tibialis posterior tendon because it seems to be who suffers the most stress or overstrain. Perhaps for this reason it is the target tendon of osteoarthritic disease lesions.

About limitations and research perspectives about the paper highlight that Foot Kinetic Index (FKI) is not a validated index. We

were unable to find any validated assessment index or diagnostic system for dynamic disorders in scientific literature. There are pathological classification criteria depending on the ranges of joint mobility recorded by high-frequency video cameras, including the construction of 3D models for the evaluation of dynamics. We consider, however, excessive the economic cost and the investment in time that these examination systems require, for this reason we advocate for the incorporation of an affordable and generalizable clinical diagnosis method of dynamic diseases, such as the Foot Kinetic Index.

Explain that records and evaluation were carried out exclusively by a single observer, for each one of them, and therefore inter-observer validity could not be compared. Specify, however, that this was not the objective of our study.

We consider logistic regression models carried out in this study have strength to provide initial data that could help to design, based on them, other analytical observational studies or cohorts or cases and controls, able of determining risk factors and their respective ORs.

In conclusion, foot function disorders during walking are statistically associated with tibialis posterior and/or peroneals ultrasound-detected tenosynovitis. Foot postural disorders have not been found to be associated to ankle tendons ultrasound disease. Tibialis posterior ultrasound-detected tenosynovitis is associated with foot and ankle dynamic's overpronation during walking. Foot function disorders increase the likelihood of ankle ultrasound-detected tenosynovitis. An innovative measurement of gait, the Foot Kinetic Index, appears as a diagnostic score capable to detect dynamic disorders. This requires a validation process, with different pressure systems,

larger sample size and multicentre design. After that FKI could be used as a diagnostically tool to facilitating clinician decision-making and to improve treatments.

Acknowledgements

Thank to Joan Teva for his good work, patience and free interest. He collected static assessment data of all participants, ever rigorous and efficient; PhD Maria Teresa Puig Reixach for her availability and scientific rigor to critique and improve both the design and the definitive version of this study; also PhD Carmen Moragues for the effort of time in ultrasound assessments initial sample collection.

Ethics approval and consent to participate

Ethical approval for this study was requested to CEIC from "Institut de Recerca de l'Hospital de la Santa Creu i Sant Pau", in Barcelona. Code number: IIB-SP-KPE-2017-48. Ref. HSCSP: 17/281 (OBS). Authorization was requested from Rheumatology Department management. and signed informed consent of each participant was collected, prior to their formal acceptance as a participant in the study.

Conflict of interest

All authors declare no financial or other relationship that could lead to a conflict of interest related to this work. The authors alone are responsible for the content and writing of the manuscript. There are no conflicts of interest among any of the authors of this article.

Funding

This research did not receive any specific grant from founding agencies in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Declarations of interest

None

Availability of data and materials

The dataset used and/or analysed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Authors' contributions

Conception and study design: ATC, CDT.

Data collection: ATC, PMA, FMS.

Result analysis and interpretation: ATC, FMS.

Creation, drafting, and preparation of the initial draft of the paper: ATC.

Review and final acceptance: ATC, CDT, PMA, FMS.

References

- Zhu Y, Kang G, Yu C, Poh LH. Logarithmic rate based elasto-viscoplastic cyclic constitutive model for soft biological tissues. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2016;61:397-409. DOI: 10.1016/j.jmbm.2016.03.014.
- Criscenti G, De Maria C, Sebastiani E, Tei M, Placella G, Speziali A, et al. Quasi-linear viscoelastic properties of the human medial patello-femoral ligament. *J Biomech*. 2015;48(16):4297-302. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2015.10.042.
- Thijs Y, De Clercq D, Roosen P, Witvrouw E. Gait-related intrinsic risk factors for patellofemoral pain in novice recreational runners. *Br J Sports Med*. 2008;42(6):466-71. DOI: 10.1136/bjism.2008.046649.
- Sanchis-Sales E, Sancho-Bru JL, Roda-Sales A, Pascual-Huerta J. Dynamic Flexion Stiffness of Foot Joints During Walking. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2016;106(1):37-46. DOI: 10.7547/14-141.
- Dowling GJ, Murley GS, Munteanu SE, Smith MM, Neal BS, Griffiths IB, et al. Dynamic foot function as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review. *J Foot Ankle Res*. 2014;7(1):53. DOI: 10.1186/s13047-014-0053-6.
- Van der Leeden M, Steultjens M, Dekker JH, Prins AP, Dekker J. Forefoot joint damage, pain and disability in rheumatoid arthritis patients with foot complaints: the role of plantar pressure and gait characteristics. *Rheumatology (Oxford)*. 2006;45(4):465-9. DOI: 10.1093/rheumatology/kei186.
- Rokkedal-Lausch T, Lykke M, Hansen MS, Nielsen RO. Normative values for the foot posture index between right and left foot: a descriptive study. *Gait Posture*. 2013;38(4):843-6. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2013.04.006.
- Murley GS, Landorf KB, Menz HB, Bird AR. Effect of foot posture, foot orthoses and footwear on lower limb muscle activity during walking and running: a systematic review. *Gait Posture*. 2009;29(2):172-87. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2008.08.015.
- Redmond AC, Crane YZ, Menz HB. Normative values for the Foot Posture Index. *J Foot Ankle Res*. 2008;1(1):6. DOI: 10.1186/1757-1146-1-6.
- Wong L, Hunt A, Burns J, Crosbie J. Effect of foot morphology on center-of-pressure excursion during barefoot walking. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2008;98(2):112-7. DOI: 10.7547/0980112.
- De Cock A, Vanrenterghem J, Willems T, Witvrouw E, De Clercq D. The trajectory of the centre of pressure during barefoot running as a potential measure for foot function. *Gait Posture*. 2008;27(4):669-75. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2007.08.013.
- Lugade V, Kaufman K. Center of pressure trajectory during gait: a comparison of four foot positions. *Gait Posture*. 2014;40(4):719-22. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2014.07.001.
- Arnoldner MA, Gruber M, Syré S, Kristen KH, Trnka HJ, Kainberger F, et al. Imaging of posterior tibial tendon dysfunction--Comparison of high-resolution ultrasound and 3T MRI. *Eur J Radiol*. 2015;84(9):1777-81. DOI: 10.1016/j.ejrad.2015.05.021.
- Rabbito M, Pohl MB, Humble N, Ferber R. Biomechanical and clinical factors related to stage I posterior tibial tendon dysfunction. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2011;41(10):776-84. DOI: 10.2519/jospt.2011.3545.
- Hollander K, Zech A, Rahlf AL, Orendurff MS, Stebbins J, Heidt C. The relationship between static and dynamic foot posture and running biomechanics: A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture*. 2019;72:109-122. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2019.05.031.
- Buldt AK, Forghany S, Landorf KB, Murley GS, Levinger P, Menz HB. Centre of pressure characteristics in normal, planus and cavus feet. *J Foot Ankle Res*. 2018;11:3. DOI: 10.1186/s13047-018-0245-6.