



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:

Asociación entre cambios degenerativos de la primera articulación metatarsofalángica con la alteración de las variables goniométricas del arco longitudinal interno: estudio observacional / Association between degenerative changes of the first metatarsophalangeal joint with goniometric variables of the internal longitudinal arch: observational study

Autores / Authors:

Raquel Sánchez Sánchez, Marta Nieto Cordero, Raquel de la Cruz Moreno, Raúl Molines Barrosos, Ángel Manuel Orejana García, Óscar Madruga Armada

DOI: [10.20986/revesppod.2024.1694/2024](https://doi.org/10.20986/revesppod.2024.1694/2024)

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

Sánchez Sánchez Raquel, Nieto Cordero Marta, de la Cruz Moreno Raquel, Molines Barrosos Raúl, Orejana García Ángel Manuel, Madruga Armada Óscar. Asociación entre cambios degenerativos de la primera articulación metatarsofalángica con la alteración de las variables goniométricas del arco longitudinal interno: estudio observacional / Association between degenerative changes of the first metatarsophalangeal joint with goniometric variables of the internal longitudinal arch: observational study. Rev. Esp. Pod. 2024. doi: 10.20986/revesppod.2024.1694/2024.



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.2024.1694/2024>

Asociación entre cambios degenerativos de la primera articulación metatarsofalángica con la alteración de las variables goniométricas del arco longitudinal interno: estudio observacional

Association between degenerative changes of the first metatarsophalangeal joint with goniometric variables of the internal longitudinal arch: observational study

Raquel Sánchez Sánchez, Marta Nieto Cordero, Raquel de la Cruz Moreno, Raúl Molines Barrosos, Ángel Manuel Orejana García y Óscar Madruga Armada

Servicio de Patología y Ortopedia. Clínica Universitaria de Podología, Universidad Complutense de Madrid, España

Palabras clave:

Hallux rigidus, arco longitudinal interno, radiografía.

Resumen

Introducción: Radiográficamente se ha demostrado una asociación entre el hallux rigidus y la presencia de metatarsus primus elevatus. El objetivo de este trabajo es valorar la asociación entre los cambios degenerativos de la primera articulación metatarsofalángica (1AMTF) con valores goniométricos del arco longitudinal interno.

Pacientes y métodos: Estudio observacional sobre pacientes de la Clínica Universitaria de Podología (UCM), de septiembre 2022 a marzo 2023, con una movilidad 1AMTF inferior a 60° en descarga. En radiografía lateral en carga se analizaron: alteración del espacio articular, osteofitosis dorsal en falange proximal y en cabeza del primer metatarsiano, ángulo inclinación de primer metatarsiano, ángulo inclinación de calcáneo, línea Meary-Tomeno y ángulo Costa Bartani interno.

Resultados: Se analizaron 37 pies (37 pacientes) con edad media de 52 (64.9 % mujeres y 35.1 % hombres). La disminución del espacio articular se asoció con línea Meary-Tomeno más plantar ($8.4^\circ \pm 5.6$ vs. $1.1^\circ \pm 5.4$; $p < 0.001$), menor inclinación del calcáneo ($21.4^\circ \pm 4.8$ vs. $25.5^\circ \pm 6.4$; $p = 0.032$) y menor inclinación del primer metatarsiano ($21.5^\circ \pm 2.5$ vs. $23.8^\circ \pm 3.3$; $p = 0.018$). Pacientes con osteofitosis dorsal en falange proximal tuvieron menor ángulo de inclinación del calcáneo ($19.8^\circ \pm 4.4$ vs. $24.5^\circ \pm 1.3$; p -valor = 0.021). Los pacientes con algún signo de hallux rígidos ($n = 22$; 60 %) mostraron una línea Meary-Tomenon con un vértice más plantar ($7.0^\circ \pm 7.0$ vs. $2.7^\circ \pm 5.1$; $p = 0.041$).

Conclusiones: Las medidas goniométricas que representan valores compatibles con aplanamiento del arco longitudinal interno se asocian con signos de degeneración articular de la primera articulación metatarsofalángica.

Key words:

Hallux rigidus, internal longitudinal arch, radiography.

Abstract

Introduction: Radiographically, an association has been shown between hallux rigidus and tMetatarsus Primus Elevatus. The objective of this article is to assess the association between degenerative changes of the first metatarsophalangeal joint with goniometric values of the internal longitudinal arch.

Patients and methods: Observational study on patients of the University Podiatry Clinic (UCM) from September 2022 to March 2023 who presented reduced mobility of first metatarsophalangeal joint of less than 60° in nonweightbearing. From a weight bearing lateral x-ray it was analyzed: joint space alteration, dorsal osteophytosis in proximal phalanx and in first metatarsal, inclination angle of first metatarsal, inclination angle of calcaneus, Meary-Tomeno line and internal Costa Bartani angle.

Results: 37 feet (37 patients) were analyzed with a mean age of 52 years (64.9 % women, 35.1 % men). Decreased joint space was associated with more plantar Meary-Tomeno line ($8.4^\circ \pm 5.6$ vs. $1.1^\circ \pm 5.4$; $p < 0.001$), less calcaneal inclination ($21.4^\circ \pm 4.8$ vs. $25.5^\circ \pm 6.4$; $p = 0.032$) and less inclination of first metatarsal ($21.5^\circ \pm 2.5$ vs. $23.8^\circ \pm 3.3$; $p = 0.018$). Patients who presented dorsal osteophytosis of proximal phalanx had a lower calcaneal inclination ($19.8^\circ \pm 4.4$ vs. $24.5^\circ \pm 1.3$; $p = 0.021$). Patients with any signs of hallux rigidus showed a Meary-Tomenon line with a more plantar apex ($7.0^\circ \pm 7.0$ vs. $2.7^\circ \pm 5.1$; $p = 0.041$).

Conclusions: Goniometric measurements representing values compatible with flattening of the internal longitudinal arch are associated with signs of joint degeneration of the first metatarsophalangeal joint.

Recibido: 15-04-2024

Aceptado: 27-05-2024



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/).

Correspondencia:

Raquel Sánchez Sánchez
raqsan09@ucm.es

Introducción

El término hallux rigidus (HR) hace referencia a la artrosis degenerativa, u osteoartritis, de la primera articulación metatarsofalángica (1AMTF). Cursa con una limitación dolorosa a la flexión dorsal de dicha articulación, la cual es fundamental en dinámica, ya que soporta aproximadamente el 119 % del peso corporal durante el ciclo de la marcha¹. El HR es la segunda patología más frecuente de la 1AMTF, siendo solo superada por el hallux abductus valgus. Se estima que el HR afecta al 2.5 % de la población mayor de 50 años y de manera menos habitual en la adolescencia, en este último caso como evolución de una lesión osteocondral. Además, se ha observado que el sexo femenino tiene el doble de probabilidad que el masculino de desencadenar HR².

Se ha encontrado una débil asociación en la literatura entre el HR y algunos factores de riesgo basados en hallazgos clínicos, como historia previa de traumatismos, o deformidades como hallux abductus valgus, hallux abductus interfalángico, alteración en la longitud del primer metatarsiano o de la falange proximal del hallux. Radiográficamente se ha demostrado una asociación significativa entre el HR y la presencia de un metatarsus primus elevatus (MPE)³.

Por otro lado, el diagnóstico de la enfermedad de HR está basado en hallazgos clínicos y radiológicos. Los hallazgos clínicos más frecuentemente presentes en el diagnóstico del HR son el dolor y la limitación de la movilidad articular de la 1AMTF y los radiológicos son la formación de osteofitos dorsales en la cabeza del primer metatarsiano, presencia de quistes y geodas subcondrales, existencia de esclerosis subcondral, afectación del espacio articular, patologías de los sesamoideos (incluyendo la necrosis avascular) o lesiones óseas tras traumatismos⁴. Basado en los resultados de estudios fiabilidad y validez, la literatura recomienda usar como gold estándar para el diagnóstico y clasificación del HR, la clasificación de Coughlin y Shurnas^{2,5} (Tabla I).

El término de hallux limitus es utilizado indistintamente como hallux rigidus en la literatura para referirse a la deformidad dolorosa en el plano sagital de la 1AMTF. Dananberg⁶ describió el término de hallux limitus funcional como aquella entidad en la que el rango de movimiento de la 1AMTF se encuentra libre en descarga, mientras que el rango de dorsiflexión del hallux está limitado en las actividades en carga, en ausencia de cambios estructurales radiológicos. Esta entidad sería equivalente a los estadios iniciales de la clasificación de hallux rigidus propuesta por Coughlin y Shurnas.

La pronación excesiva del retropié, la cual es observada comúnmente en la práctica clínica, ha sido sugerida como una de las principales causas de hallux limitus funcional⁷. Se ha teorizado que el aumento de la pronación en cadena cinética cerrada produce un aumento de la tensión la aponeurosis plantar⁸. Fuller sugirió que el aumento excesivo de la tensión de la fascia plantar, como puede suceder en una situación de máxima pronación, puede contrarrestar el momento dorsalflexor que soporta el hallux al inicio la fase propulsiva, evitando así la instauración adecuada del mecanismo de Windlass y, por tanto, evitando la dorsiflexión del hallux⁹. Esta dorsiflexión inadecuada de la falange proximal produce una restricción de la movilidad en flexión dorsal de la 1AMTF, microtraumatismos repetitivos y proliferaciones de las articulaciones marginales, generándose el hallux *rigidus*. Harradine y Bevan⁷ mostraron a través de mediciones en estática del paciente que el rango máximo de dorsiflexión del hallux disminuye con el aumento de la eversión del retropié. Para ello utilizaron elementos externos como cuñas de retropié para aumentar la eversión del calcáneo y, por tanto, la pronación del retropié. Sin embargo, no hemos encontrado estudios que analicen la asociación entre la presencia de HR con en la posición del pie medida mediante las diferencias en los ángulos radiográficos del arco interno.

Dado que actualmente no se han realizado estudios que asocien variables radiológicas compatibles con la pronación y el desarrollo

Tabla I. Clasificación Coughlin y Shurnas⁵.

Grado	Dorsiflexión	Hallazgos radiológicos	Hallazgos clínicos
Grado 0	40-60°	Dentro de la normalidad	<ul style="list-style-type: none"> - Ausencia de dolor - Solo moderada rigidez
Grado 1	30-40°	<ul style="list-style-type: none"> - Osteofitos dorsales - Estrechamiento mínimo del espacio articular - Esclerosis subcondral mínima - Aplanamiento mínimo de la cabeza metatarsal 	<ul style="list-style-type: none"> - Dolor intermitente en los rangos finales de flexión dorsal - Rigidez leve
Grado 2	10-30°	<ul style="list-style-type: none"> - Osteofitos dorsales, laterales y mediales que dan aspecto aplanado a la cabeza metatarsal - Estrechamiento leve/moderado del espacio articular - Esclerosis subcondral moderada - No hay afectación de los sesamoideos 	<ul style="list-style-type: none"> - Dolor y rigidez de moderados a intensos - Dolor previo a la dorsiflexión y plantarflexión máximas en la exploración
Grado 3	< 10°	Igual que en el grado 2, pero con: <ul style="list-style-type: none"> - Cambios quísticos periarticulares - Gran estrechamiento del espacio articular - Hipertrofia de sesamoideos 	<ul style="list-style-type: none"> - Dolor casi constante - Rigidez en el extremo de la amplitud del movimiento
Grado 4	< 10°	Igual que en el grado 3	<ul style="list-style-type: none"> - Dolor y rigidez constantes - Dolor en el rango medio al realizar la dorsiflexión pasiva

de proceso degenerativos en la 1AMTF, el objetivo principal de este estudio fue valorar la asociación entre los cambios degenerativos de la 1AMTF con los valores goniométricos del arco longitudinal interno en el plano sagital.

Pacientes y métodos

Tipo de estudio y tamaño muestral

Se llevó a cabo un estudio observacional sobre una muestra de 37 pies correspondientes a 37 pacientes, que acudieron al servicio de Patología y Ortopedia de la Clínica Universitaria de Podología de la Universidad Complutense de Madrid durante el periodo de septiembre de 2022 a marzo de 2023. En aquellos individuos que mostraron sintomatología de HR de manera bilateral, solo el pie que presentó mayor sintomatología fue incluido en el estudio.

Criterios de inclusión

Se establecieron como criterios de inclusión para la población de estudio la presencia de una movilidad máxima en flexión dorsal (FxD) de la 1AMTF inferior a 60° en descarga o la pérdida de un 10 % o más del grado de movimiento de la 1AMTF en comparación con el miembro contralateral y que el paciente tenga capacidad para poder caminar distancias superiores a 50 metros sin la ayuda de dispositivos de soporte para la marcha, como muletas o andadores.

Asimismo, se excluyeron pacientes embarazadas, con antecedentes de cirugía localizada a nivel de la 1AMTF o en otras estructuras osteoarticulares de la columna interna, antecedentes de diabetes mellitus, antecedentes de enfermedades reumáticas (artritis psoriásica, artritis reumatoide y artritis gotosa) y/o haber tenido una infiltración de corticosteroides o ácido hialurónico en las doce semanas previas a la recogida de datos.

Extracción de datos

A todos los pacientes incluidos en el estudio se les realizó una radiografía lateral en carga del pie incluido en el trabajo. Se analizaron las siguientes variables radiográficas relacionadas con la presencia de hallux *rigidus* de acuerdo con la clasificación de Coughlin y Shurnas: alteración del espacio articular (disminución o ausencia), osteofitosis dorsal en la falange proximal, y en la cabeza del primer metatarsiano. Por otro lado, se registraron las siguientes variables clínicas: rigidez articular (leve/moderada/intensa), dolor (a la movilidad/intermitente/casi constante/constante) y el rango de FxD máxima de la 1AMTF, siguiendo protocolo desarrollado por López del Amo y cols.¹⁰, donde se describe la exploración articular de la 1AMTF en descarga, la cual consiste en colocar al paciente en decúbito supino en la camilla en su posición relajada, colocando el fulcro del goniómetro en el centro de la cabeza del primer metatarsiano, la rama proximal paralela a la diáfisis del primer metatarsiano y la rama distal o móvil paralela a la diáfisis de la falange proximal, llevando al dedo a su máxima extensión.

En relación con las variables goniométricas en radiografía lateral, se obtuvieron los siguientes ángulos: ángulo de inclinación del primer metatarsiano, ángulo de inclinación del calcáneo, línea de



Figura 1. Ángulo de inclinación del primer metatarsiano.



Figura 2. Ángulo de inclinación del calcáneo.

Meary-Tomeno y ángulo de Costa Bartani Interno. El ángulo de inclinación metatarsal o ángulo de Fick implica la inclinación de los cinco metatarsianos, sin embargo, para este estudio únicamente se tuvo en cuenta el ángulo de inclinación del primer metatarsiano (Figura 1) que fue definido mediante el eje diáfisario del primer metatarsiano con el plano horizontal de apoyo del suelo¹¹. El ángulo de inclinación del calcáneo (Figura 2) se define mediante eje del calcáneo, línea que une la tuberosidad del calcáneo hasta el margen plantar de la prolongación anterior del calcáneo cerca de la articulación calcáneo-cuboidea y el plano de soporte (línea formada por la tuberosidad plantar proximal del calcáneo y la cabeza del 5.º metatarsiano). Se toma 20° como valor compatible con la normalidad¹². La línea de Meary-Tomeno (Figura 3) se define como la línea que pasa por el eje del astrágalo (bisectriz del ángulo que forman la tangente al borde superior e inferior del astrágalo) y el eje de la diáfisis del primer metatarsiano¹³. El ángulo de Costa Bartani Interno (Figura 4) se define como la unión de tres puntos: el punto más bajo del sesamoideo medial, el punto más bajo de la tuberosidad posterior del calcáneo y el punto más bajo de la articulación astrágalo-escafoidea¹⁴.

Se eligieron estos ángulos porque son los que mejor representan la alineación del arco longitudinal interno, donde la disminución o inclinación hacia plantar se asocian con un aplanamiento del mismo¹⁵.

Se llevó a cabo un *training* inicial entre el grupo investigador para la valoración de las medidas goniométricas. Posteriormente los signos y los ángulos radiográficos fueron evaluados por dos podólogos cegados en los resultados del otro investigador utilizando el software



Figura 3. Línea de Meary Tomeno.



Figura 4. Ángulo de Costa Bartani interno.

de control de calidad Kodak POC 360 para realizar las mediciones; ambos investigadores llevaron a cabo 3 mediciones de los ángulos radiográficos para minimizar el riesgo de sesgo, tomándose la media de las mediciones como la medida válida.

Variable principal del estudio

La variable principal del estudio fue la presencia de HR definida como la existencia de un grado 0 o superior en la clasificación de Cou-

ghlin y Shurnas². Además, y para determinar el objetivo del estudio, se evaluó de manera individual cada uno de los cambios degenerativos de la 1AMTF de dicha clasificación.

Análisis estadístico

Se llevó a cabo el análisis estadístico mediante el programa SPSS para MacOS en su versión 25.0 (SPSS, Inc. Chicago, IL). Las variables cualitativas fueron expresadas mediante su frecuencia y porcentaje y las variables cuantitativas mediante su media y su desviación estándar. Se llevó a cabo la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar la normalidad de la muestra. Para determinar las variables goniométricas que mejor se relacionaban con los signos clínicos y los cambios degenerativos de la 1AMTF se llevó un test de contraste de hipótesis mediante la prueba de la t-student en caso de muestras paramétricas y la prueba de la Wilcoxon-Mann-Whitney en caso de no paramétricas. Se consideró el valor $p < 0.05$ como estadísticamente significativo.

Resultados

Se incluyeron 37 pies de 37 pacientes ($n = 37$) con una edad media de $52 (\pm 17.1)$ años, siendo el 64.9 % mujeres ($n = 24$) y el 35.1 % hombres ($n = 13$), con IMC medio de $26 (\pm 4.8)$ kg/m², de los cuales el 38 % ($n = 14$) presentaba dolor. De la muestra total, un 40.5 % ($n = 15$) pertenecía al estadio 0 según la clasificación descrita por Coughlin y Shurnas, un 32.4 % ($n = 12$) pertenecía al estadio 1, un 18.9 % ($n = 7$) pertenecía al estadio 2 y un 8.1 % ($n = 3$) pertenecía al estadio 3. Ningún paciente cumplió criterios clínicos y radiológicos compatibles con el estadio 4.

Los pacientes que presentaron osteofitosis dorsal de la falange proximal ($n = 11$; 30 %) tuvieron un ángulo de inclinación del calcáneo menor que aquellos que no presentaron osteofitosis ($19.8^\circ \pm 4.4$ vs. $24.5^\circ \pm 1.3$; $p = 0.021$; IC [0.753 a 8.747]) (Tabla II).

La presencia de una disminución del espacio articular se relacionó con aquellos pacientes que presentaban un ángulo de Meary-Tomeno con vértice más plantar ($8.4^\circ \pm 5.6$ vs. $1.1^\circ \pm 5.4$) una menor inclinación del calcáneo ($21.4^\circ \pm 4.8$ vs. $25.5^\circ \pm 6.4$) y una menor inclinación del primer metatarsiano ($21.5^\circ \pm 2.5$ vs. $23.8^\circ \pm 3.3$) (< 0.05) (Tabla III).

Tabla II. Asociación entre la presencia de osteofitosis de la falange proximal del hallux con las diferentes variables de estudio. El signo + indica signo radiográfico de HR. Valores estadísticamente significativos (p -valor < 0.05). Los valores de IC [95 %] se muestran para variables cuantitativas que presentan una distribución normal.

	Osteofitosis dorsal de la falange proximal		Valor p	IC [95 %]
	Presencia (+)	Ausencia (-)		
Meary-Tomeno (grados)	8.13 ± 6.5	4.05 ± 6.4	0.079	
Costa Bartani interno (grados)	128 ± 7.2	123 ± 6.9	0.082	[-10.129 a 0.667]
Inclinación del calcáneo (grados)	19.8 ± 4.4	24.5 ± 5.8	0.012*	[-1.124 a 8.377]
Inclinación del primer metatarsiano (grados)	22.0 ± 2.6	22.7 ± 3.2	0.470	[-1.359 a 2.854]

Tabla III. Asociación entre la ausencia del espacio articular con las diferentes variables de estudio. El signo + indica signo radiográfico de HR. Valores estadísticamente significativos (p -valor < 0.05). Los valores de IC [95 %] se muestran para variables cuantitativas que presentan una distribución normal.

	Espacio articular		Valor p	IC [95 %]
	Presente (-)	Ausente (+)		
Meary-Tomeno (grados)	1.10 ± 5.4	8.42 ± 5.6	< 0.001*	
Costa Bartani interno (grados)	122 ± 7.6	126 ± 6.5	0.089	[-9.042 a 0.684]
Inclinación del calcáneo (grados)	25.5 ± 6.4	21.4 ± 4.8	0.041*	[0.183 a 8.016]
Inclinación del primer metatarsiano (grados)	23.8 ± 3.3	21.5 ± 2.5	0.024*	[0.341 a 4.366]

Tabla IV. Asociación entre la presencia de osteofitosis de la cabeza del primer metatarsiano con las diferentes variables de estudio. El signo + indica signo radiográfico de HR. Valores estadísticamente significativos (p -valor < 0.05). Los valores de IC [95 %] se muestran para variables cuantitativas que presentan una distribución normal.

	Osteofitosis dorsal en la cabeza del primer metatarsiano		Valor p	IC [95 %]
	Presencia (+)	Ausencia (-)		
Meary-Tomeno (grados)	4.66 ± 7.2	6.50 ± 5.2	0.452	
Costa Bartani interno (grados)	123 ± 7.7	128 ± 5.5	0.067	[-0.322 a 8.713]
Inclinación del calcáneo (grados)	24.0 ± 5.79	21.3 ± 5.7	0.191	[-6.898 a 1.462]
Inclinación del primer metatarsiano (grados)	22.9 ± 2.47	21.7 ± 4.0	0.387	[-3.807 a 1.560]

Tabla V. Asociación entre la presencia de signos clínicos de HR según la clasificación de Coughlin y Shurnas con las diferentes variables de estudio. El signo + indica signo radiográfico de HR. Valores estadísticamente significativos (p -valor < 0.05). Los valores de IC [95 %] se muestran para variables cuantitativas que presentan una distribución normal.

	Hallux rigidus		Valor p	IC [95 %]
	Presencia (+)	Ausencia (-)		
Meary-Tomeno (grados)	6.98 ± 7.0	2.74 ± 5.1	0.044*	
Costa Bartani interno (grados)	126 ± 7.4	123 ± 6.8	0.212	[-7.806 a 1.803]
Inclinación del calcáneo (grados)	22.1 ± 5.3	22.6 ± 2.9	0.221	[-1.605 a 6.636]
Inclinación del primer metatarsiano (grados)	22.9 ± 2.47	22.3 ± 3.3	0.800	[-2.363 a 1.835]

No se obtuvieron asociaciones significativas entre las variables goniométricas y los pacientes que presentaron osteofitosis dorsal en la cabeza del primer metatarsiano (Tabla IV).

Finalmente, de acuerdo con la clasificación de Coughlin y Shurnas, los pacientes con algún signo de hallux rigidus ($n = 22$; 60 %) mostraron una línea de Meary-Tomeno con un vértice más plantar que aquellos que no mostraron signos de hallux rigidus ($7.0^\circ \pm 7.0$ vs. $2.7^\circ \pm 5.1$ respectivamente; $p = 0.041$; IC [-8.301 a 0.183]) (Tabla V).

Discusión

Los resultados de este estudio muestran que las medidas goniométricas que representan valores compatibles con aplanamiento del arco longitudinal interno se asocian con signos de degeneración articular de la 1AMTF, siendo el ángulo de Meary-Tomeno el que mejor asociación presentó con el diagnóstico clínico-radiográfico del HR.

No hemos encontrado estudios que comparen la morfología radiológica en el medio o en el retropié con la existencia de HR, por

lo que no podemos realizar comparaciones directas de nuestros resultados. Sin embargo, algunos autores¹⁶⁻¹⁸ han demostrado previamente, que determinados cambios estructurales en el antepié, como el HAV están relacionados con la presencia de HR, por lo que cabría pensar que otras deformidades en medio o retropié pudieran tener relación con esta patología, lo cual parece sugerirse con nuestros hallazgos.

Coughlin y Shurnas⁵ no encontraron asociación del HR con la posición anómala del pie. Sin embargo, los autores analizaron las deformidades del retropié basándose en la evaluación clínica de la posición del calcáneo y considerando patológica valores por encima de 6° de valgo y la altura del arco mediante la anchura del arco medido en la huella plantar. Los valores goniométricos radiográficos resultan más precisos para detectar cambios más sutiles en la morfología del pie, por eso recomendamos otros estudios que usando esta metodología puedan confirmar nuestros hallazgos.

Por otro lado, Anwander y cols.³ encontraron una relación directa con el MPE. Una razón podría ser la influencia de la pronación o del aplanamiento del medio y/o del retropié, que podría favorecer la deformación en una posición de flexión dorsal del primer metatarsiano, contribuyendo así a los estadios iniciales del HR¹⁹.

Nuestros resultados sugieren que es importante evaluar la posición del pie en radiografía lateral en carga para determinar la posición del pie, recomendándose realizar la medición del ángulo de Meary-Tomeno puesto que la existencia de un vértice plantar, se asoció con una mayor presencia de HR.

Los resultados de este estudio deben ser interpretados con cautela. En primer lugar, porque no se llevó a cabo un cálculo del tamaño muestral, y por tanto consideramos pequeña la muestra del estudio. En segundo lugar, porque en la muestra no existe representación proporcional de todos los estadios de HR, siendo mayoritarios los estadios más leves de esta patología. Sin embargo, esto podría sugerir que las variaciones en los ángulos goniométricos estarían asociados con la presencia de HR en los primeros estadios, aunque se requieren futuros estudios para demostrarlo. La principal fortaleza del estudio es que se trata del primero que ha evaluado la asociación entre la morfología del mediopié y del retropié en el plano sagital mediante radiografía con la degeneración de la 1AMTF.

En conclusión, el presente estudio muestra que las medidas goniométricas que representan valores compatibles con aplanamiento del arco longitudinal interno se asocian con signos de degeneración articular de la 1AMTF, siendo el ángulo de Meary-Tomeno el que mejor asociación presentó con el diagnóstico clínico-radiográfico del HR, pudiendo sugerir una asociación entre el HR y la pronación de tarso o la presencia de pie plano.

Declaración ética

El estudio se realizó y completó de acuerdo con los estándares éticos del comité responsable y se obtuvo la aprobación ética (Comité de Ética del Hospital Clínico San Carlos [IdISSC], con código interno: 22/355-E). Se recogió el consentimiento informado de todos los pacientes incluidos en el estudio. Los autores declaran que el estudio cumplió con el código ético de la Declaración de Helsinki.

Conflictos de intereses

No existe conflictos de intereses.

Financiación

No se ha obtenido ningún tipo de financiación para la elaboración de este trabajo.

Contribución de los autores

Concepción y diseño del estudio: RSS, MNC, RCM y OMA.

Recopilación de datos: RSS, MNC y OMA.

Análisis e interpretación de resultados: RSS, MNC, RMB, AMOG y OMA.

Creación, redacción y preparación del borrador inicial del artículo: RSS, MNC, RCM, RMB, AMOG y OMA.

Revisión y aceptación versión final previa publicación: RSS, MNC, RMB, AMOG y OMA.

Bibliografía

- Jacob HA. Forces acting in the forefoot during normal gait--an estimate. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2001;16(9):783-92. DOI: 10.1016/S0268-0033(01)00070-5.
- Di Caprio F, Mosca M, Ceccarelli F, Caravelli S, Vocale E, Zaffagnini S, et al. Hallux Rigidus: Current Concepts Review and Treatment Algorithm with Special Focus on Interposition Arthroplasty. *Acta Biomed [Internet]*. 2022;93(5):e2022218.
- Anwander H, Alkhatatba M, Lerch T, Schmaranzer F, Krause FG. Evaluation of Radiographic Features Including Metatarsus Primus Elevatus in Hallux Rigidus. *J Foot Ankle Surg*. 2022;61(4):831-5. DOI: 10.1053/j.jfas.2021.11.027.
- Bro NK, Lange J, Kabel JF. Diagnostik og behandling af hallux rigidus. *Ugeskr Laeger*. 2021;182(14):1-8.
- Coughlin MJ, Shurnas PS. Hallux rigidus: Demographics, etiology, and radiographic assessment. *Foot Ankle Int*. 2003;24(10):731-43. DOI: 10.1177/107110070302401002.
- Dananberg HJ. Functional hallux limitus and its relationship to gait efficiency. *J Am Podiatr Med Assoc*. 1986;76(11):648-52. DOI: 10.7547/87507315-76-11-648.
- Harradine PD, Bevan LS. The Effect of Rearfoot Eversion on Maximal Hallux Dorsiflexion. A Preliminary Study. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2000;90(8):390-3.
- Scherer PR. Heel spur syndrome. Pathomechanics and nonsurgical treatment. Biomechanics Graduate Research Group for 1988. *J Am Podiatr Med Assoc*. 1991;81(2):68.
- Fuller E. The windlass mechanism of the foot. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2000;90(1):35-46. DOI: 10.7547/87507315-90-1-35.
- López del Amo-Lorente A, Cintado-Reyes R, Munuera-Martínez PV, González-Úbeda R, Salcini-Macias JL. ¿Cuál es el protocolo de exploración más adecuado a la hora de valorar la primera articulación metatarsofalángica? *Rev Esp Podol*. 2013;(1):25-9.
- Ogalla JM, Zalazain A. Goniometría. *Rev Esp Podol*. 1991;2(5):247-53.
- Westberry DE, Davids JR, Roush TF, Pugh LI. Qualitative versus quantitative radiographic analysis of foot deformities in children with hemiplegic cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*. 2008;28(3):359-65. DOI: 10.1097/BPO.0b013e3181653b51.
- Liu W, Chen Y, Zeng G, Yang T, Ma M, Song W. Individual Surgical Treatment of Stage IV Müller-Weiss Disease According to CT/MRI Examination: A Retrospective Study of 12 Cases. *Front Surg*. 2022;9(March):1-10.
- Bobiński A, Tomczyk Ł, Reichert P, Morasiewicz P. Short-Term and Medium-Term Radiological and Clinical Assessment of Patients with Symptomatic Flexible Flatfoot Following Subtalar Arthroereisis with Spheroscrew. *J Clin Med*. 2023;12(15):5038. DOI: 10.3390/jcm12155038.
- Alsaidi FA, Moria KM. Flatfeet Severity-Level Detection Based on Alignment Measuring. *Sensors*. 2023;23(19):1-16.
- D'Arcangelo PR, Landorf KB, Munteanu SE, Zammit G V., Menz HB. Radiographic correlates of hallux valgus severity in older people. *J Foot Ankle Res*. 2010;3(1):1-9. DOI: 10.1186/1757-1146-3-20.
- Roddy E, Zhang W, Doherty M. Prevalence and associations of hallux valgus in a primary care population. *Arthritis Care Res*. 2008;59(6):857-62. DOI: 10.1002/art.23709.
- Cho NH, Kim S, Kwon DJ, Kim HA. The prevalence of hallux valgus and its association with foot pain and function in a rural Korean community. *J Bone Joint Surg Br*. 2009;91(4):494-8. DOI: 10.1302/0301-620X.91B4.21925.
- Nubé VL, Molyneaux L, Yue DK. Biomechanical risk factors associated with neuropathic ulceration of the hallux in people with diabetes mellitus. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2006;96(3):189-97. DOI: 10.7547/0960189.



ORIGINAL

Bilingual article English/Spanish

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

DOI: <http://dx.doi.org/10.20986/revesppod.2024.1694/2024>

Association between degenerative changes of the first metatarsophalangeal joint with goniometric variables of the internal longitudinal arch: observational study

Asociación entre cambios degenerativos de la primera articulación metatarsofalángica con la alteración de las variables goniométricas del arco longitudinal interno: estudio observacional

Raquel Sánchez Sánchez, Marta Nieto Cordero, Raquel de la Cruz Moreno, Raúl Molines Barrosos, Ángel Manuel Orejana García y Óscar Madruga Armada

Servicio de Patología y Ortopedia. Clínica Universitaria de Podología, Universidad Complutense de Madrid, Spain

Key words:

Hallux rigidus, internal longitudinal arch, radiography.

Abstract

Introduction: Radiographically, an association has been shown between hallux rigidus and tMetatarsus Primus Elevatus. The objective of this article is to assess the association between degenerative changes of the first metatarsophalangeal joint with goniometric values of the internal longitudinal arch.

Patients and methods: Observational study on patients of the University Podiatry Clinic (UCM) from September 2022 to March 2023 who presented reduced mobility of first metatarsophalangeal joint of less than 60° in nonweightbearing. From a weight bearing lateral x-ray it was analyzed: joint space alteration, dorsal osteophytosis in proximal phalanx and in first metatarsal. inclination angle of first metatarsal, inclination angle of calcaneus, Meary-Tomeno line and internal Costa Bartani angle.

Results: 37 feet (37 patients) were analyzed with a mean age of 52 years (64.9 % women, 35.1 % men). Decreased joint space was associated with more plantar Meary-Tomeno line ($8.4^\circ \pm 5.6$ vs. $1.1^\circ \pm 5.4$; $p < 0.001$), less calcaneal inclination ($21.4^\circ \pm 4.8$ vs. $25.5^\circ \pm 6.4$; $p = 0.032$) and less inclination of first metatarsal ($21.5^\circ \pm 2.5$ vs. $23.8^\circ \pm 3.3$; $p = 0.018$). Patients who presented dorsal osteophytosis of proximal phalanx had a lower calcaneal inclination ($19.8^\circ \pm 4.4$ vs. $24.5^\circ \pm 1.3$; $p = 0.021$). Patients with any signs of hallux rigidus showed a Meary-Tomenon line with a more plantar apex ($7.0^\circ \pm 7.0$ vs. $2.7^\circ \pm 5.1$; $p = 0.041$).

Conclusions: Goniometric measurements representing values compatible with flattening of the internal longitudinal arch are associated with signs of joint degeneration of the first metatarsophalangeal joint.

Palabras clave:

Hallux rigidus, arco longitudinal interno, radiografía.

Resumen

Introducción: Radiográficamente se ha demostrado una asociación entre el hallux rigidus y la presencia de metatarsus primus elevatus. El objetivo de este trabajo es valorar la asociación entre los cambios degenerativos de la primera articulación metatarsofalángica (1AMTF) con valores goniométricos del arco longitudinal interno.

Pacientes y métodos: Estudio observacional sobre pacientes de la Clínica Universitaria de Podología (UCM), de septiembre 2022 a marzo 2023, con una movilidad 1AMTF inferior a 60° en descarga. En radiografía lateral en carga se analizaron: alteración del espacio articular, osteofitosis dorsal en falange proximal y en cabeza del primer metatarsiano, ángulo inclinación de primer metatarsiano, ángulo inclinación de calcáneo, línea Meary-Tomeno y ángulo Costa Bartani interno.

Resultados: Se analizaron 37 pies (37 pacientes) con edad media de 52 (64.9 % mujeres y 35.1 % hombres). La disminución del espacio articular se asoció con línea Meary-Tomeno más plantar ($8.4^\circ \pm 5.6$ vs. $1.1^\circ \pm 5.4$; $p < 0.001$), menor inclinación del calcáneo ($21.4^\circ \pm 4.8$ vs. $25.5^\circ \pm 6.4$; $p = 0.032$) y menor inclinación del primer metatarsiano ($21.5^\circ \pm 2.5$ vs. $23.8^\circ \pm 3.3$; $p = 0.018$). Pacientes con osteofitosis dorsal en falange proximal tuvieron menor ángulo de inclinación del calcáneo ($19.8^\circ \pm 4.4$ vs. $24.5^\circ \pm 1.3$; p -valor = 0.021). Los pacientes con algún signo de hallux rigidus ($n = 22$; 60 %) mostraron una línea Meary-Tomenon con un vértice más plantar ($7.0^\circ \pm 7.0$ vs. $2.7^\circ \pm 5.1$; $p = 0.041$).

Conclusiones: Las medidas goniométricas que representan valores compatibles con aplanamiento del arco longitudinal interno se asocian con signos de degeneración articular de la primera articulación metatarsofalángica.

Received: 04-15-2024

Accepted: 05-27-2024



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:

Raquel Sánchez Sánchez
E-mail address: raqsan09@ucm.es

Introduction

The term hallux rigidus (HR) refers to degenerative arthritis, or osteoarthritis, of the first metatarsophalangeal joint (1MTPJ). It presents with painful limitation to dorsiflexion of this joint, which is crucial dynamically as it bears approximately 119 % of body weight during the gait cycle¹. HR is the second most common pathology of the 1MTPJ, surpassed only by Hallux Abductus Valgus. It is estimated that HR affects 2.5 % of the population over 50 years old and is less common in adolescence, in this latter case as an evolution of an osteochondral injury. Additionally, it has been observed that females are twice as likely as males to develop HR².

A weak association has been found in the literature between HR and some risk factors based on clinical findings, such as a history of trauma, or deformities like Hallux Abductus Valgus, Hallux Abductus Interphalangeus, alteration in the length of the first metatarsal or the proximal phalanx of the hallux. Radiographically, a significant association has been demonstrated between HR and the presence of Metatarsus Primus Elevatus (MPE)³.

On the other hand, the diagnosis of HR disease is based on clinical and radiological findings. The most common clinical findings in the diagnosis of HR are pain and limited joint mobility of the 1MTPJ, and the radiological findings include the formation of dorsal osteophytes on the head of the first metatarsal, presence of cysts and subchondral geodes, existence of subchondral sclerosis, involvement of the joint space, sesamoid disorders (including avascular necrosis), or bone lesions following trauma⁴. Based on the results of reliability and validity studies, the literature recommends using the Coughlin and Shurnas classification as the gold standard for the diagnosis and classification of HR^{2,5} (Table I).

The term hallux limitus is used interchangeably with *hallux rigidus* in the literature to refer to the painful deformity in the sagittal plane of the 1MTPJ. Dananberg⁶ described the term functional hallux

limitus as the entity in which the range of motion of the 1MTPJ is free in non-weight bearing conditions, while the range of dorsiflexion of the hallux is limited during weight-bearing activities, in the absence of radiological structural changes. This entity would be equivalent to the initial stages of the hallux rigidus classification proposed by Coughlin and Shurnas.

Excessive pronation of the rearfoot, commonly observed in the routine clinical practice, has been suggested as one of the main causes of functional hallux limitus⁷. It has been theorized that increased pronation in a closed kinetic chain produces an increase in tension in plantar aponeurosis⁸. Fuller suggested that excessive tension in the plantar fascia, as can be the case in a situation of maximum pronation, can counteract the dorsiflexor moment that the hallux supports at the beginning of the propulsive phase, thus preventing the proper establishment of the Windlass mechanism and, therefore, preventing the dorsiflexion of the hallux⁹. This inadequate dorsiflexion of the proximal phalanx results in a restriction of dorsiflexion mobility of the 1MTPJ, repetitive microtraumas, and proliferation of marginal joints, leading to hallux rigidus. Harradine and Bevan⁷ showed through static measurements of the patient that the maximum range of dorsiflexion of the hallux decreases with increased rearfoot eversion. For this, they used external elements such as rearfoot wedges to increase the eversion of the calcaneus and therefore the pronation of the rearfoot. However, we have not found studies that analyze the association between the presence of HR and the position of the foot, measured by differences in the radiographic angles of the internal arch.

Given that currently no studies have been conducted that associate radiological variables compatible with pronation and the development of degenerative processes in the 1MTPJ, the main objective of this study was to assess the association between degenerative changes of the 1MTPJ and the goniometric values of the internal longitudinal arch in the sagittal plane.

Table I. Coughlin and Shurnas classification⁵.

Grade	Dorsiflexion	Radiological findings	Clinical findings
Grade 0	40-60°	Within normal limits	<ul style="list-style-type: none"> – No pain – Only moderate stiffness
Grade 1	30-40°	<ul style="list-style-type: none"> – Dorsal osteophytes – Minimal joint space narrowing – Minimal subchondral sclerosis – Minimal flattening of the metatarsal head 	<ul style="list-style-type: none"> – Intermittent pain at end ranges of dorsiflexion – Mild stiffness
Grade 2	10-30°	<ul style="list-style-type: none"> – Dorsal, lateral, and medial osteophytes giving a flattened appearance to the metatarsal head – Mild/moderate joint space narrowing – Moderate subchondral sclerosis – No sesamoid involvement 	<ul style="list-style-type: none"> – Moderate to severe pain and stiffness – Pain before maximal dorsiflexion and plantarflexion during examination
Grade 3	<10°	Same as Grade 2, plus: <ul style="list-style-type: none"> – Periarticular cystic changes – Significant joint space narrowing – Sesamoid hypertrophy 	<ul style="list-style-type: none"> – Almost constant pain – Stiffness at the extreme range of motion
Grade 4	<10°	Same as Grade 3	<ul style="list-style-type: none"> – Constant pain and stiffness – Pain in the mid-range during passive dorsiflexion

Patients and methods

Study type and sample size

We conducted an observational study on a sample of 37 feet corresponding to 37 patients who visited the Pathology and Orthopedics service of the University Podiatry Clinic of Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain during the period from September 2022 through March 2023. In individuals who showed bilateral HR symptoms, only the foot with the most severe symptoms was included in the study.

Inclusion criteria

The inclusion criteria for the study population were established as the presence of a maximum dorsiflexion (DF) mobility of the 1MTPJ of $< 60^\circ$ in non-weight-bearing conditions or a loss of $\geq 10\%$ of the degree of motion of the 1MTPJ vs the contralateral limb, and the patient's ability to walk distances > 50 meters without the aid of walking support devices such as crutches or walkers.

Pregnant patients, those with a history of surgery localized to the 1MTPJ or other osteoarticular structures of the internal column, a history of diabetes mellitus, rheumatic diseases such as psoriatic arthritis, rheumatoid arthritis, and gouty arthritis, and/or having received a corticosteroid or hyaluronic acid injection in the 12 weeks prior to data collection were excluded.

Data mining

All patients included in the study underwent a weight-bearing lateral X-ray of the included foot. The following radiographic variables related to the presence of hallux rigidus according to the Coughlin and Shurnas classification were analyzed: alteration of the joint space (decrease or absence), dorsal osteophytosis in the proximal phalanx, and in the head of the first metatarsal. Additionally, the following clinical variables were recorded: joint stiffness (mild/moderate/severe), pain (with movement/intermittent/almost constant/constant), and the maximum DF range of the 1MTPJ, following the protocol developed by López del Amo et al.¹⁰ in which joint examination of the 1MTPJ in non-weight-bearing conditions is described. This involves placing the patient in a supine position on the examination table in a relaxed state, placing the goniometer fulcrum at the center of the head of the first metatarsal, the proximal arm parallel to the shaft of the first metatarsal, and the distal or movable arm parallel to the shaft of the proximal phalanx, moving the toe to its maximum extension.

Regarding the goniometric variables in the lateral X-ray, the following angles were obtained: first metatarsal inclination angle, calcaneal inclination angle, Meary-Tomeno line, and internal Costa Bartani angle. The metatarsal inclination angle or Fick angle involves the inclination of the 5 metatarsals; however, for this study, only the inclination angle of the first metatarsal was considered (Figure 1), which was defined by the diaphyseal axis of the first metatarsal with the horizontal plane of the ground support¹¹. The calcaneal inclination angle (Figure 2) is defined by the axis of the calcaneus, a line connecting the calcaneal tuberosity to the plantar margin of the anterior extension of the calcaneus near the calcaneocuboid joint,

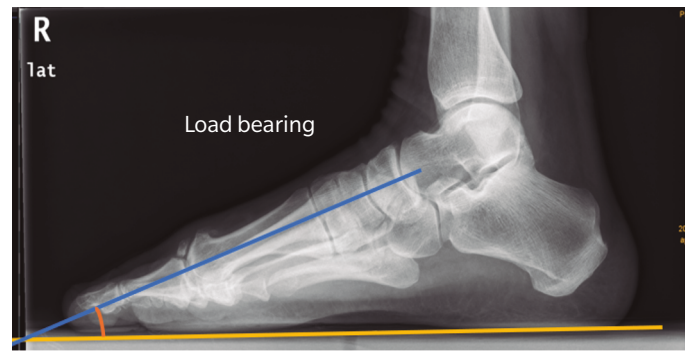


Figure 1. First metatarsal inclination angle.

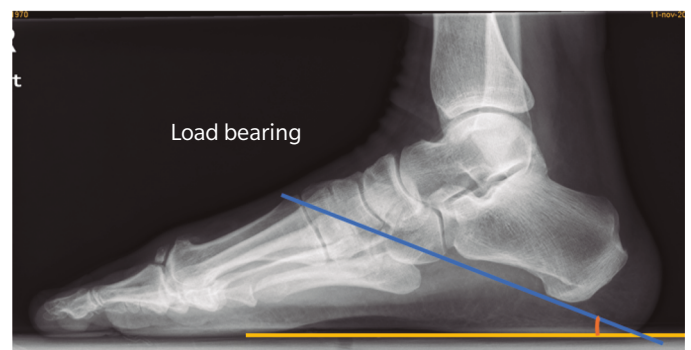


Figure 2. Calcaneal inclination angle.

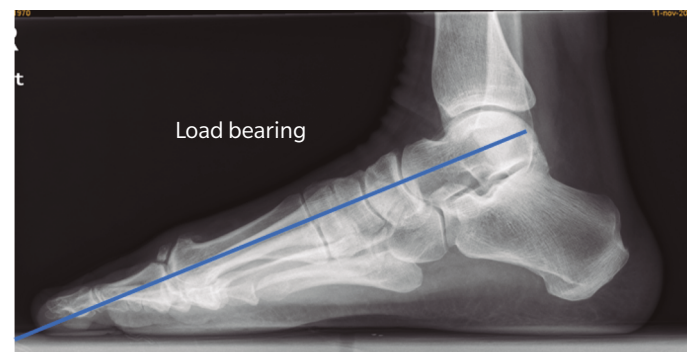


Figure 3. Meary-Tomeno line.

and the support plane (line formed by the proximal plantar tuberosity of the calcaneus and the head of the 5th metatarsal). A value of 20° is considered normal¹². The Meary-Tomeno line (Figure 3) is defined as the line passing through the axis of the talus (bisector of the angle formed by the tangent to the superior and inferior borders of the talus) and the axis of the diaphysis of the first metatarsal¹³. The internal Costa Bartani angle (Figure 4) is defined as the union of 3 points: the lowest point of the medial sesamoid, the lowest point of the posterior tuberosity of the calcaneus, and the lowest point of the talonavicular joint¹⁴.

These angles were chosen because they best represent the alignment of the internal longitudinal arch, in which the decrease

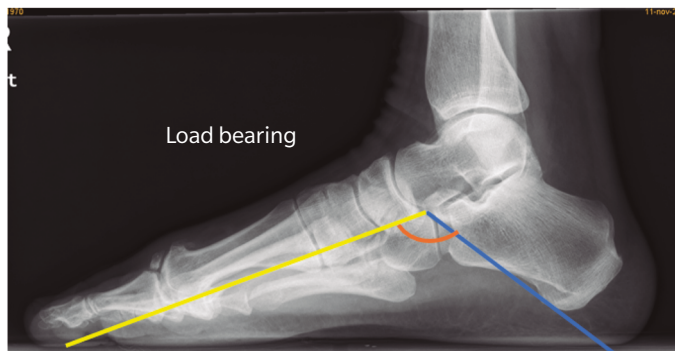


Figure 4. Internal Costa Bartani angle.

or inclination towards the plantar side is associated with flattening of the arch¹⁵.

An initial training session was conducted among the research group for the evaluation of goniometric measurements. Subsequently, the signs and radiographic angles were evaluated by two podiatrists blinded to each other's results using the Kodak POC 360 quality control software for measurements; both researchers performed 3 measurements of the radiographic angles to minimize bias, with the mean of the measurements being taken as the valid measurement.

Main study variable

The main variable of the study was the presence of HR defined as the existence of grade 0 or higher in the Coughlin and Shurnas classification². Additionally, to determine the study's objective, each of the degenerative changes of the 1MTPJ in the classification was individually evaluated.

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using SPSS for MacOS version 25.0 (SPSS, Inc. Chicago, IL, United States). Qualitative

variables were expressed as frequency and percentage, and quantitative variables as mean and standard deviation. The Kolmogorov-Smirnov test was used to determine the normality of the sample. To determine the goniometric variables that best related to clinical signs and degenerative changes of the 1MTPJ a contrast hypothesis test was carried out by means of the t-test that was used for parametric samples and the Wilcoxon-Mann-Whitney U test for non-parametric samples. A p value < 0.05 was considered statistically significant.

Results

A total of 37 feet out of 37 patients (n = 37) with a mean age of 52 (± 17.1) years were included, 64.9 % of whom were women (n = 24) and 35.1 % men (n = 13), with a mean BMI of 26 (± 4.8) kg/m², 38 % of which (n = 14) experienced pain. A total of 40.5 % (n = 15) of the entire sample belonged to stage 0 according to the classification described by Coughlin and Shurnas, 32.4 % (n = 12) to stage 1, 18.9 % (n = 7) to stage 2, and 8.1 % (n = 3) to stage 3. No patient met the clinical and radiological criteria consistent with stage 4.

Patients with dorsal osteophytosis of the proximal phalanx (n = 11; 30 %) had a smaller calcaneal inclination angle than those without osteophytosis ($19.8^\circ \pm 4.4$ vs. $24.5^\circ \pm 1.3$; p = 0.021; CI [0.753 to 8.747]) (Table II).

The presence of joint space narrowing was associated with patients with a more plantar-vertex Meary-Tomeno angle ($8.4^\circ \pm 5.6$ vs. $1.1^\circ \pm 5.4$), a smaller calcaneal inclination ($21.4^\circ \pm 4.8$ vs. $25.5^\circ \pm 6.4$), and a smaller first metatarsal inclination ($21.5^\circ \pm 2.5$ vs. $23.8^\circ \pm 3.3$) (p < 0.05) (Table III).

No significant associations were found between the goniometric variables and patients with dorsal osteophytosis of the first metatarsal head (Table IV).

Finally, based on the Coughlin and Shurnas classification, patients with any sign of hallux rigidus (n = 22; 60 %) showed a more plantar-vertex Meary-Tomeno line than those without signs of hallux rigidus ($7.0^\circ \pm 7.0$ vs. $2.7^\circ \pm 5.1$ respectively; p = 0.041; CI [-8.301 to -0.183]) (Table V).

Table II. Association between the presence of osteophytosis of the proximal phalanx of the hallux and the different study variables. The + sign indicates a radiographic sign of HR. Statistically significant values (p-value < 0.05). The 95 % CI values are shown for quantitative variables that present a normal distribution.

Variable	Presence of dorsal osteophytosis of the proximal phalanx		p-value	95 % CI
	Presence (+) Mean \pm SD	Absence (-) Mean \pm SD		
Meary-Tomeno (degrees)	8.13 \pm 6.5	4.05 \pm 6.4	0.079	
Internal Costa Bartani (degrees)	128 \pm 7.2	123 \pm 6.9	0.082	[-10.129, 0.667]
Calcaneal Inclination (degrees)	19.8 \pm 4.4	24.5 \pm 5.8	0.012*	[-1.124, 8.377]
First Metatarsal Inclination (degrees)	22.0 \pm 2.6	22.7 \pm 3.2	0.470	[-1.359, 2.854]

Table III. Association between the absence of joint space and the different study variables. The + sign indicates a radiographic sign of HR. Statistically significant values (p-value < 0.05). The 95 % CI values are shown for quantitative variables that present a normal distribution.

Joint space				
Variable	Present (-) Mean ± SD	Absent (+) Mean ± SD	p-value	95 % CI
Meary-Tomeno (degrees)	1.10 ± 5.4	8.42 ± 5.6	< 0.001*	
Internal Costa Bartani (degrees)	122 ± 7.6	126 ± 6.5	0.089	[-9.042, 0.684]
Calcaneal Inclination (degrees)	25.5 ± 6.4	21.4 ± 4.8	0.041*	[0.183, 8.016]
First Metatarsal Inclination (degrees)	23.8 ± 3.3	21.5 ± 2.5	0.024*	[0.341, 4.366]

Table IV. Association between the presence of osteophytosis of the head of the first metatarsal and the different study variables. The + sign indicates a radiographic sign of HR. Statistically significant values (p-value < 0.05). The 95 % CI values are shown for quantitative variables that present a normal distribution.

Presence of dorsal osteophytosis of the head of the first metatarsal				
Variable	Presence (+) Mean ± SD	Absence (-) Mean ± SD	p-value	95 % CI
Meary-Tomeno (degrees)	4.66 ± 7.2	6.50 ± 5.2	0.452	
Internal Costa Bartani (degrees)	123 ± 7.7	128 ± 5.5	0.067	[-0.322, 8.713]
Calcaneal Inclination (degrees)	24.0 ± 5.79	21.3 ± 5.7	0.191	[-6.898, 1.462]
First Metatarsal Inclination (degrees)	22.9 ± 2.47	21.7 ± 4.0	0.387	[-3.807, 1.560]

Table V. Association between the presence of clinical signs of HR according to the Coughlin and Shurnas classification and the different study variables. The + sign indicates a radiographic sign of HR. Statistically significant values (p-value < 0.05). The 95 % CI values are shown for quantitative variables that present a normal distribution.

Hallux rigidus				
Variable	Presence (+) Mean ± SD	Absence (-) Mean ± SD	p-value	95 % CI
Meary-Tomeno (degrees)	6.98 ± 7.0	2.74 ± 5.1	0.044*	
Internal Costa Bartani (degrees)	126 ± 7.4	123 ± 6.8	0.212	[-7.806, 1.803]
Calcaneal Inclination (degrees)	22.1 ± 5.3	22.6 ± 2.9	0.221	[-1.605, 6.636]
First Metatarsal Inclination (degrees)	22.9 ± 2.47	22.3 ± 3.3	0.800	[-2.363, 1.835]

Discussion

The results of this study show that goniometric measures that represent values consistent with flattening of the medial longitudinal arch are associated with signs of joint degeneration of the 1MTPJ,

with the Meary-Tomeno angle showing the best association with the clinical-radiographic diagnosis of HR.

We have not found studies comparing the radiological morphology in the midfoot or rearfoot with the presence of HR, so we cannot make direct comparisons with our results. However, some authors¹⁶⁻¹⁸

have previously demonstrated that certain structural changes in the forefoot, such as HAV, are related to the presence of HR, suggesting that other deformities in the midfoot or rearfoot might be related to this pathology, which seems to be suggested by our findings.

Coughlin and Shurnas⁵ did not find an association between HR and abnormal foot position. However, they analyzed rearfoot deformities based on clinical evaluation of calcaneal position and considered pathological values $> 6^\circ$ of valgus and arch height by the width of the arch measured in the plantar footprint. Radiographic goniometric values are more precise for detecting subtler changes in foot morphology, so we recommend further studies using this methodology to confirm our findings.

On the other hand, Anwander et al.³ found a direct relationship with MPE. One reason could be the impact of pronation or flattening of the midfoot and/or rearfoot, which could favor deformation in a dorsiflexion position of the first metatarsal, thus contributing to the initial stages of HR¹⁹.

Our results suggest that it is important to evaluate the position of the foot in a weight-bearing lateral X-ray to determine foot position, recommending the measurement of the Meary-Tomeno angle since the presence of a plantar vertex was associated with a higher presence of HR.

The results of this study should be interpreted with caution. Firstly, because a sample size calculation was not carried out, and therefore we consider the study sample to be small. Secondly, because the sample does not proportionally represent all HR stages, with milder stages of this disease being predominant. However, this could suggest that variations in goniometric angles are associated with the presence of HR in the early stages, although future studies are needed to prove this. The main strength of the study is that it is the first to evaluate the association between midfoot and rearfoot morphology in the sagittal plane via X-ray with 1MTPJ degeneration.

In conclusion, the results of the present study have shown that goniometric measures that represent values consistent with flattening of the MLA are associated with signs of joint degeneration of the 1MTPJ, with the Meary-Tomeno angle showing the best association with the clinical-radiographic diagnosis of HR, suggesting a possible association between HR and tarsal pronation or flatfoot.

Ethics declaration

The study was conducted and completed in full compliance with the ethical standards of the responsible committee, and ethical approval was obtained (Ethics Committee of Hospital Clínico San Carlos [IdISSC], with internal code: 22/355-E). Informed consent was obtained from all patients included in the study. The authors declare that the study complied with the ethical code of the Declaration of Helsinki.

Conflicts of interest

None declared.

Funding

None declared.

Authors' contributions

Study idea and design: RSS, MNC, RCM, and OMA.
Data collection: RSS, MNC, and OMA.

Analysis and interpretation of results: RSS, MNC, RMB, AMOG, and OMA.
Drafting, writing, and preparation of the initial manuscript: RSS, MNC, RCM, RMB, AMOG, and OMA.

Review and approval of the final version prior to publication: RSS, MNC, RMB, AMOG, and OMA.

References

- Jacob HA. Forces acting in the forefoot during normal gait--an estimate. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2001;16(9):783-92. DOI: 10.1016/S0268-0033(01)00070-5.
- Di Caprio F, Mosca M, Ceccarelli F, Caravelli S, Vocale E, Zaffagnini S, et al. Hallux Rigidus: Current Concepts Review and Treatment Algorithm with Special Focus on Interposition Arthroplasty. *Acta Biomed [Internet]*. 2022;93(5):e2022218.
- Anwander H, Alkhatatba M, Lerch T, Schmaranzer F, Krause FG. Evaluation of Radiographic Features Including Metatarsus Primus Elevatus in Hallux Rigidus. *J Foot Ankle Surg*. 2022;61(4):831-5. DOI: 10.1053/j.jfas.2021.11.027.
- Bro NK, Lange J, Kabel JF. Diagnostik og behandling af hallux rigidus. *Ugeskr Laeger*. 2021;182(14):1-8.
- Coughlin MJ, Shurnas PS. Hallux rigidus: Demographics, etiology, and radiographic assessment. *Foot Ankle Int*. 2003;24(10):731-43. DOI: 10.1177/107110070302401002.
- Dananberg HJ. Functional hallux limitus and its relationship to gait efficiency. *J Am Podiatr Med Assoc*. 1986;76(11):648-52. DOI: 10.7547/87507315-76-11-648.
- Harradine PD, Bevan LS. The Effect of Rearfoot Eversion on Maximal Hallux Dorsiflexion. A Preliminary Study. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2000;90(8):390-3.
- Scherer PR. Heel spur syndrome. Pathomechanics and nonsurgical treatment. *Biomechanics Graduate Research Group for 1988. J Am Podiatr Med Assoc*. 1991;81(2):68.
- Fuller E. The windlass mechanism of the foot. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2000;90(1):35-46. DOI: 10.7547/87507315-90-1-35.
- López del Amo-Lorente A, Cintado-Reyes R, Munuera-Martínez PV, González-Úbeda R, Salcini-Macias JL. ¿Cuál es el protocolo de exploración más adecuado a la hora de valorar la primera articulación metatarsofalángica? *Rev Esp Podol*. 2013;(1):25-9.
- Ogalla JM, Zalazain A. Goniometría. *Rev Esp Podol*. 1991;2(5):247-53.
- Westberry DE, Davids JR, Roush TF, Pugh LI. Qualitative versus quantitative radiographic analysis of foot deformities in children with hemiplegic cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*. 2008;28(3):359-65. DOI: 10.1097/BPO.0b013e3181653b51.
- Liu W, Chen Y, Zeng G, Yang T, Ma M, Song W. Individual Surgical Treatment of Stage IV Müller-Weiss Disease According to CT/MRI Examination: A Retrospective Study of 12 Cases. *Front Surg*. 2022;9(March):1-10.
- Bobiński A, Tomczyk Ł, Reichert P, Morasiewicz P. Short-Term and Medium-Term Radiological and Clinical Assessment of Patients with Symptomatic Flexible Flatfoot Following Subtalar Arthroereisis with Spheroscrew. *J Clin Med*. 2023;12(15):5038. DOI: 10.3390/jcm12155038.
- Alsaidi FA, Moria KM. Flatfoot Severity-Level Detection Based on Alignment Measuring. *Sensors*. 2023;23(19):1-16.
- D'Arcangelo PR, Landorf KB, Munteanu SE, Zammit G V., Menz HB. Radiographic correlates of hallux valgus severity in older people. *J Foot Ankle Res*. 2010;3(1):1-9. DOI: 10.1186/1757-1146-3-20.
- Roddy E, Zhang W, Doherty M. Prevalence and associations of hallux valgus in a primary care population. *Arthritis Care Res*. 2008;59(6):857-62. DOI: 10.1002/art.23709.
- Cho NH, Kim S, Kwon DJ, Kim HA. The prevalence of hallux valgus and its association with foot pain and function in a rural Korean community. *J Bone Joint Surg Br*. 2009;91(4):494-8. DOI: 10.1302/0301-620X.91B4.21925.
- Nubé VL, Molyneaux L, Yue DK. Biomechanical risk factors associated with neuropathic ulceration of the hallux in people with diabetes mellitus. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2006;96(3):189-97. DOI: 10.7547/0960189.