



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:

Movilidad normal del primer radio en los planos sagital y frontal / Normal mobility of the first ray in the sagital and frontal planes

Autores / Authors:

Priscila Távara Vidalón, Guillermo Lafuente Sotillos, María José Manfredi Márquez, Pedro V. Munuera-Martínez

DOI: [10.20986/revesppod.2021.1600/2021](https://doi.org/10.20986/revesppod.2021.1600/2021)

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

Távara Vidalón Priscila, Lafuente Sotillos Guillermo, Manfredi Márquez María José, Munuera-Martínez Pedro V.. Movilidad normal del primer radio en los planos sagital y frontal / Normal mobility of the first ray in the sagital and frontal planes. Rev. Esp. Pod. 2021. doi: 10.20986/revesppod.2021.1600/2021.



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 en español

Rev Esp Podol. 2021;xx(x):x-x
DOI: 10.20986/revesspod.2021.1600/2021

Estudio radiográfico sobre la movilidad del primer radio en los planos sagital y frontal

Radiographic study of the mobility of the first ray in the sagittal and frontal planes

Priscila Távora Vidalón, Guillermo Lafuente Sotillos, María José Manfredi Márquez y Pedro V. Munuera-Martínez

Departamento de Podología. Universidad de Sevilla. Sevilla, España

Palabras clave:

Primer radio, pie, movilidad, dorsiflexión, plantarflexión, inversión, eversión, radiología.

Resumen

Objetivos: El objetivo de este trabajo fue estudiar el rango de movimiento del primer radio en el plano sagital y frontal en pies normales.

Pacientes y métodos: Se realizaron radiografías anteroposteriores de tobillo que cogían todo el pie en 60 participantes sanos, con el primer radio en posición neutra, en máxima dorsiflexión y en máxima plantarflexión. Se digitalizaron las radiografías y se midió la distancia entre el maléolo tibial y la cresta intersesamoidea en las tres posiciones mencionadas. Mediante un ángulo trazado entre la cabeza del primer metatarsiano y una línea horizontal, se midió la rotación del primer radio en el plano frontal en esas tres posiciones.

Resultados: El movimiento del primer radio para toda la muestra en el plano sagital fue de 5.91 ± 0.33 mm de dorsiflexión, y 4.92 ± 0.36 mm de plantarflexión. El movimiento en el plano frontal fue de 2.67 ± 0.52 grados de inversión durante la dorsiflexión, y de 2.97 ± 0.36 grados de eversión durante la plantarflexión.

Conclusión: En los participantes de este estudio se observó que al realizar la dorsiflexión en el plano sagital, la cabeza del primer metatarsiano se invirtió, y al realizar la plantarflexión, el primer radio se evirtió, por lo que se produjeron movimientos tanto en el plano sagital como en el frontal. En los participantes de este estudio se produjeron 0,52 grados de movimiento en el plano frontal por cada milímetro de desplazamiento en el plano sagital.

Keywords:

First ray, foot, mobility, dorsiflexion, plantarflexion, inversion, eversion, radiology.

Abstract

Objectives: The objective of this study was to investigate the first ray normal range of motion (ROM) in the sagittal and frontal planes in normal feet.

Patients and methods: Anterior-posterior radiographs were done of the ankle showing the whole foot of 60 healthy participants with the first ray in a neutral position, maximally dorsiflexed and maximally plantarflexed. They were digitalized and the distance between the tibial malleolus and the intersesamoid crest in the three positions mentioned was measured. The rotation of the first ray in these three positions was measured.

Results: ROM of the first ray in the sagittal plane was of 5.91 ± 0.33 mm of dorsiflexion and 4.92 ± 0.36 mm of plantarflexion. ROM in the frontal plane was 2.67 ± 0.52 degrees of inversion during the dorsiflexion and 2.97 ± 0.36 degrees of eversion during the plantarflexion.

Conclusion: In the participants of this study it was observed that when performing dorsiflexion in the sagittal plane, the head of the first metatarsal inverted, and when performing plantarflexion the first ray everted, thus producing movements in both the sagittal and frontal planes. 0.52 degrees of movement in the frontal plane took place in the participants of this study for each millimeter of displacement in the sagittal plane.

Recibido: 14-01-2021
Aceptado: 26-02-2021



0210-1238 © Los autores. 2021.
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:

Priscila Távora Vidalón
priscilatavara16@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El primer radio es una unidad funcional formada por el primer metatarsiano y el cuneiforme medial¹⁻⁴. Durante la marcha, el movimiento del primer radio es un componente importante en la función normal del pie. Este movimiento se ha relacionado con diferentes patologías del pie y del aparato locomotor⁵⁻¹². Además, muchos procedimientos quirúrgicos se centran en el primer radio para corregir deformidades estructurales y funcionales del primer segmento metatarso-digital, como el *hallux abductus valgus* (HAV) y el *hallux rigidus* (HR)^{3,4}.

El movimiento del primer radio es realizado por varias articulaciones, como la del primer metatarsiano y el cuneiforme medial, que se articulan con el segundo metatarsiano; y el cuneiforme medial, que se articula con el escafoides, el cuneiforme intermedio y el primer metatarsiano^{3,4}. El movimiento de las articulaciones entre el primer metatarsiano y el cuneiforme medial, y entre este y el escafoides, se produce alrededor de un eje común^{4,13}. Este eje fue descrito por Hicks¹³ en 1953. Parte desde la base del tercer metatarsiano, en la zona dorsal del pie, hasta el tubérculo del escafoides, con una inclinación aproximada de 45° con respecto a los planos sagital y frontal, y solo con una ligera inclinación con respecto al plano transversal. Esta orientación permite su movimiento en los tres planos del espacio, pero debido a que se encuentra casi paralelo al plano transversal los movimientos en este plano no son relevantes. Así, muchos autores afirman que el primer radio presenta movimientos conjuntos en los planos sagital y frontal, produciéndose inversión junto con la dorsiflexión y eversión junto con la plantarflexión en un primer radio normal¹³⁻¹⁵.

Debido a todas las articulaciones que participan en el movimiento del primer radio, su rango de movimiento ha sido difícil de cuantificar. En una revisión bibliográfica, Roukis y Landsman³ en 2003 evidenciaron que existía una falta de acuerdo en cuanto a la cantidad de movimiento que realiza el primer radio y la forma de medir este movimiento. Hasta la fecha se han empleado diferentes métodos para cuantificar la movilidad del primer radio, siendo la evaluación manual la prueba más utilizada por los podólogos, pero esta es subjetiva y presenta una baja reproducibilidad y validez¹⁶. Algunas investigaciones han empleado un equipamiento más complejo, pero solo cuantifican el movimiento en el plano sagital, ignorando los cambios que ocurren en el plano frontal^{6,12,17-21}, o no se encuentran validados²²⁻²⁶. Otros estudios se centran solo en la valoración del movimiento en la primera articulación cuneometatarsiana, debido a la dificultad de medir de forma precisa la movilidad en cada una de las pequeñas articulaciones involucradas^{6,17-20,27}. Otros autores también han valorado en cadáveres el movimiento de todas estas articulaciones, aunque en estos estudios no se reflejan las condiciones que presenta el pie *in vivo*^{19,20,27,28}.

Actualmente existe mucha discrepancia en cuanto a la cuantificación del movimiento normal en el plano sagital y

hay pocos estudios sobre el valor normal de movimiento en el plano frontal del primer radio. Por ello, el objetivo de esta investigación fue determinar el movimiento del primer radio en el plano sagital y en el plano frontal mediante un estudio radiográfico en una muestra de pies con primer radio normal.

PACIENTES Y MÉTODOS

Participantes

La muestra de este estudio estuvo constituida por voluntarios sanos, estudiantes mayores de edad, pacientes o acompañantes de pacientes que acudieron al Área Clínica de Podología de la Universidad de Sevilla, que no presentaban alteraciones morfológicas ni funcionales en el primer radio.

Este trabajo se ha llevado a cabo entre los meses de noviembre de 2016 y junio de 2019. Todos los participantes dieron su consentimiento firmado antes de ser incluidos en el estudio. Se obtuvo autorización del Área Clínica de Podología de la Universidad de Sevilla. Además, se obtuvo un dictamen favorable del Comité Ético de Investigación de los Hospitales Universitarios Virgen Macarena y Virgen del Rocío de Sevilla.

Los criterios de inclusión fueron: individuos con pies normales²⁹, con un primer radio sin alteraciones morfológicas ni funcionales y que presentaran movilidad normal del primer radio¹⁶. Los criterios de exclusión fueron: haber experimentado algún traumatismo o intervención quirúrgica del primer radio; presentar *hallux limitus* (HL), HR o HAV; haber sufrido procesos inflamatorios, metabólicos, enfermedades degenerativas o neuromusculares que afecten al pie.

Diseño del estudio

Exploración clínica

En primer lugar se realizó la valoración manual de la movilidad del primer radio mediante la maniobra clásica descrita por Root y cols.¹⁴. Para incluir a un sujeto en el estudio, dos exploradores, un podólogo con más de 20 años de experiencia y otro con 7 años de experiencia, debían coincidir por separado en su valoración del primer radio como "normal" después de realizar esta maniobra. Para ello el voluntario se colocó en una camilla en decúbito supino con el tobillo relajado y la articulación subastragalina en posición neutra.

Determinación de la dorsiflexión y plantarflexión máximas

Con una mano, el explorador sujetaba las cabezas de los metatarsianos del segundo al quinto, y con la otra sujetaba la cabeza del primer metatarsiano (Figura 1). En esta posición, la cabeza del primer metatarsiano era movida hacia arriba hasta su máximo recorrido (dorsiflexión) y posteriormente era movida hacia abajo hasta su máximo recorrido (plantarflexión). El rango de movimiento se determinaba al comparar la posición de los dedos índices y pulgares del explorador al realizar los movimientos. La posición neutra a partir de la cual



Figura 1. Exploración manual del movimiento del primer radio.

se valoró la dorsiflexión y la plantarflexión del metatarsiano fue aquella en la que la cabeza del primer metatarsiano estaba en el mismo plano que el resto de cabezas metatarsales. Se seleccionó a los sujetos que presentaron movimientos aparentemente iguales de dorsiflexión y plantarflexión. Solo se incluyó un pie de cada sujeto. Si los dos pies eran normales, la elección se hizo al azar con una moneda al aire. Si un sujeto presentaba un pie normal y el otro no, se seleccionó el normal.

Toma de imágenes radiográficas

Cuando el individuo era incluido en el estudio se le realizaban tres radiografías anteroposteriores empleando el test de Coleman modificado descrito por Fritz y Prieskorn¹⁷ para cuantificar el movimiento de máxima dorsiflexión y de máxima plantarflexión del primer radio. Previamente, el participante se situaba en bipedestación sobre un podoscopio y se colocaban progresivamente bloques de espuma de polietileno de 50 grados Shore A de 10 cm de largo y 4 cm de ancho, y de 2 a 5 mm de grosor, bajo el primer metatarsiano para cuantificar la máxima dorsiflexión. Se determinaba que el primer metatarsiano estaba en máxima dorsiflexión cuando la cabeza del segundo metatarsiano empezaba a perder apoyo. Seguidamente se colocaron bloques de espuma de polietileno de 50 grados Shore A de 30 cm de largo y 15 cm de ancho, y de 2 a 5 mm de grosor, debajo de los metatarsianos menores, dejando fuera el primer radio para cuantificar la máxima plantarflexión. Esta se determinaba cuando el primer metatarsiano empezaba a perder apoyo (Figura 2). De esta forma, se cuantificaba el grosor del bloque que se debía aplicar en el test de Coleman a la hora de obtener la imagen radiográfica para que el primer radio se trasladara a su posición de máxima dorsiflexión y plantarflexión. Se realizaron tres radiografías anteroposteriores de tobillo: una con el primer radio en posición neutra, otra con el primer radio en máxima dorsiflexión y otra con el primer radio en máxima plantarflexión, utilizan-

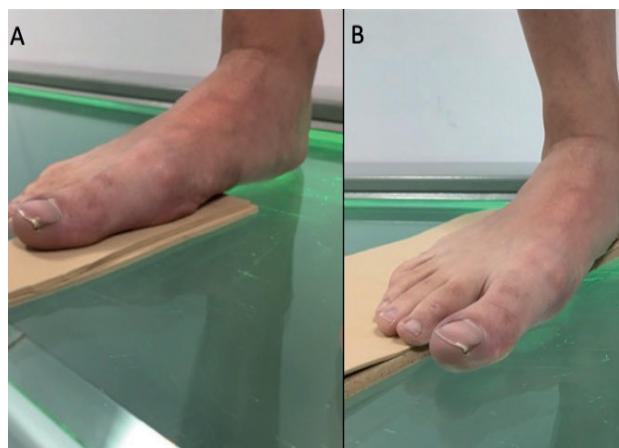


Figura 2. Test de Coleman modificado. A. Primer radio en máxima dorsiflexión. B. Primer radio en máxima plantarflexión.

do el test de Coleman modificado, como se ha mencionado anteriormente (Figura 3). Estas imágenes se utilizaron para cuantificar posteriormente el movimiento del primer radio en el plano sagital y frontal. Para ello, el participante se situó en bipedestación con la cara posterior del talón en contacto con un casete Kodak X-Omatic® (Eastman Kodak Company, New York, USA) de 18-24 cm. El tubo estaba paralelo al suelo, y el haz de rayos X estaba centrado a la cabeza del primer metatarsiano. La distancia del tubo al pie fue un metro. Las radiografías se realizaron con un equipo de rayos X Sedecal SPS HF-4.0® (Sociedad Española de Electromedicina y Calidad, Madrid, España) con una técnica de 50 kVp y 6.40 mAs, y fue revelada automáticamente con una procesadora Konica SRX-101A (Konica Minolta Holdings, Inc., Tokyo, Japón).

Mediciones

Cada radiografía fue digitalizada utilizando el escáner Epson Expression 1680 Pro® (Seiko Epson Corporation, Tokyo, Japón), con capacidad de explorar imágenes en films positivos. Las mediciones en las radiografías digitalizadas se realizaron con el *software* AutoCAD® (AutoCAD 2016; Autodesk Inc., San Rafael, California). Se dibujaron dos puntos en la cabeza del primer metatarsiano: uno en la cresta interseamioidea (punto 1) y otro en el tubérculo superomedial de donde parte el ligamento colateral medial de la primera articulación metatarsofalángica (punto 2); y un tercer punto en la zona más distal del maléolo tibial (punto A), que actuó como punto fijo (Figura 4).

Para obtener el movimiento del primer radio en el plano sagital se midió la distancia en milímetros desde el punto A hasta el punto 1, en las tres posiciones, plantarflexionado, neutro y dorsiflexionado. Para medir el movimiento en el plano frontal se dibujó una línea entre los puntos 1 y 2, y una horizontal, para hallar el ángulo formado entre ambas líneas en las tres posiciones de cada sujeto (Figuras 5 y 6).



Figura 3. Radiografías anteroposteriores del pie. A. Primer radio en máxima dorsiflexión. B. Primer radio en máxima plantarflexión.

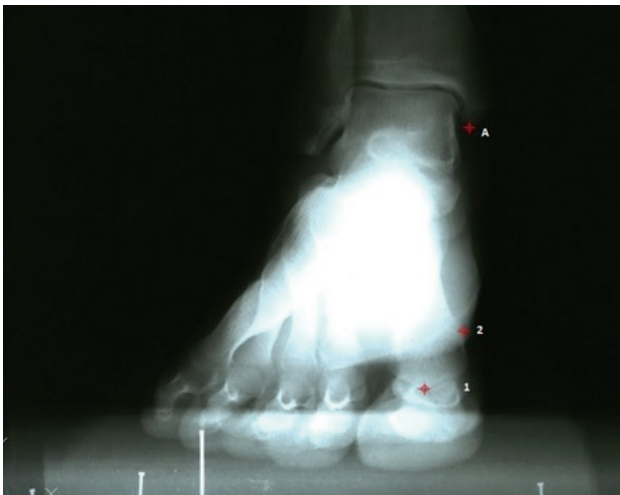


Figura 4. Radiografía con los puntos marcados. Punto 1: cresta interesamoidea. Punto 2: tubérculo superomedial. Punto A: parte más distal del maléolo tibial.

En el plano sagital, el recorrido dorsal fue la diferencia encontrada entre la distancia A-1 con el primer radio en posición neutra, y esta misma distancia con el primer radio en posición de máxima dorsiflexión. El recorrido plantar es la diferencia encontrada entre la distancia A-1 con el primer radio en posición neutra, y esta misma distancia con el primer radio en posición de máxima plantarflexión. El movimiento total es la diferencia encontrada entre la distancia A-1 con el primer radio en máxima dorsiflexión, y esta misma distancia con el primer radio en posición de máxima plantarflexión (la suma del recorrido dorsal más el recorrido plantar).

En el plano frontal, la rotación observada durante el recorrido dorsal fue un movimiento de inversión, y la rotación observada durante el recorrido plantar fue un movimiento de evasión. Los grados de inversión se obtuvieron calculando la diferencia entre el ángulo formado por la línea que une los puntos 1 y 2 y una horizontal estando el primer radio en posición neutra, y este mismo ángulo cuando el primer radio estaba en máxima dorsiflexión. Los grados de evasión se

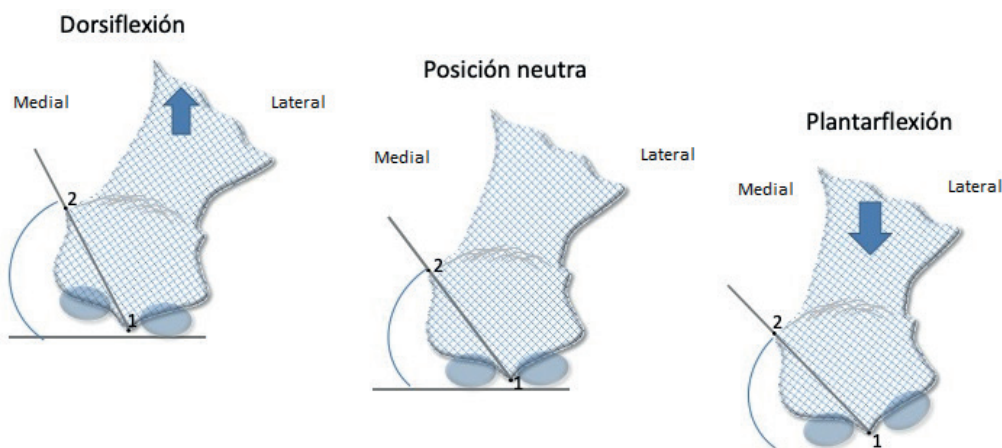


Figura 5. Movilidad del primer radio en el plano sagital y frontal.

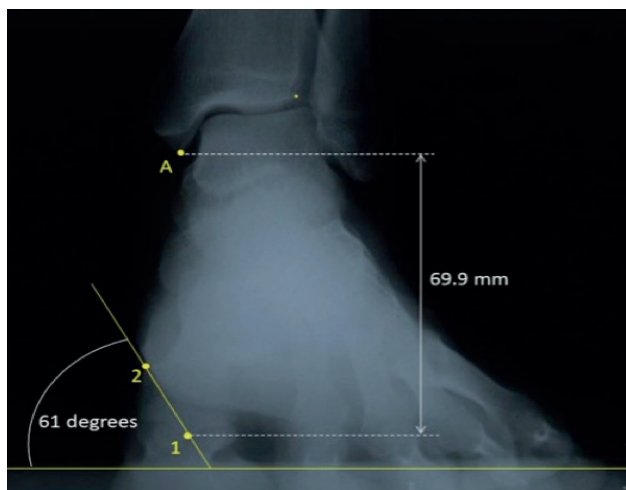


Figura 6. Ejemplo de medición en la radiografía de un pie con el primer radio en posición neutra.

obtuvieron calculando la diferencia entre este ángulo estando el primer radio en posición neutra, y el mismo ángulo cuando el primer radio estaba en máxima plantarflexión.

Análisis de datos

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo mediante el *software* SPSS Statistics®, versión 25 (IBM, Corp, Armonk, EE. UU.) para Windows®. Para comprobar la fiabilidad intraobservador del procedimiento de medición, se seleccionaron diez radiografías al azar, y se midió la distancia entre el punto A y el punto 1 en las tres posiciones (neutra, dorsiflexionada y plantarflexionada), así como el ángulo formado por la horizontal y la línea que unía los puntos 1 y 2, en dos ocasiones, con una separación de entre 20 y 30 días entre ambas. Estas mediciones se utilizaron para calcular el coeficiente de correlación intraclase.

Se comprobó si el movimiento del primer radio era diferente entre pies izquierdos y pies derechos o entre hombres y mujeres. Se utilizó la prueba de Kolmogórov-Smirnov para determinar si los datos seguían una distribución normal. En los casos en los que la distribución fue normal, se utilizó la prueba de la t de Student para muestras independientes para realizar las comparaciones. Cuando no fue normal, se utilizó la prueba de la U de Mann-Whitney. Se consideró estadísticamente significativa toda diferencia con valor de $p < 0.05$.

RESULTADOS

La muestra para este estudio consistió inicialmente en 72 sujetos, pero finalmente solo se incluyeron en el estudio aquellos en cuyas radiografías dos examinadores distintos pudieron identificar claramente los puntos que había que marcar. Se descartaron 12 sujetos porque en alguna de sus tres radiografías uno de los examinadores no fue capaz de identificar todos los puntos (punto A, punto 1 y punto 2), de modo que la muestra final fue de 60 participantes (n = 60), 41 mujeres y 19 hombres, con una edad media de 23.92 ± 0.49 años (rango 19-37 años) y un índice de masa corporal de 23.12 ± 0.44 . Se incluyeron 32 pies derechos y 28 izquierdos. Se comparó la edad entre mujeres y hombres, y entre los pies izquierdos y pies derechos, mediante la prueba de la t de Student, y la diferencia no fue estadísticamente significativa ($p = 0.581$ y $p = 0.297$, respectivamente). El valor más bajo obtenido en el coeficiente de correlación intraclase para comprobar la fiabilidad intraobservador fue de 0.952, lo que sugiere que la reproducibilidad del procedimiento de medición fue buena.

El recorrido dorsal, plantar y movimiento total del primer radio en el plano sagital, tomando como referencia la distancia entre el punto A y el punto 1 (A-1), se muestran en las Tablas I y II. En la Tabla I hemos comparado los valores entre hom-

Tabla I. Desplazamiento del primer radio en el plano sagital en todos los participantes (media ± desviación estándar) y en mujeres y hombres. Los desplazamientos se han obtenido calculando la distancia entre el punto A y el punto 1 con el primer radio en posición neutra, máxima dorsiflexión y máxima plantarflexión			
	Muestra total (n = 60)	Hombres (n = 19)	Mujeres (n = 41)
Movimiento en dorsiflexión (mm)	5.91 ± 0.33	6.52 ± 0.69	5.63 ± 0.35
Movimiento en plantarflexión (mm)	4.92 ± 0.36	4.76 ± 0.51	5.00 ± 0.47
Movimiento total (mm)	10.84 ± 0.54	11.28 ± 1.03	10.63 ± 0.64

Tabla II. Desplazamiento del primer radio en el plano sagital en todos los participantes (media ± desviación estándar) y en pies derechos e izquierdos. Los desplazamientos se han obtenido calculando la distancia entre el punto A y el punto 1 con el primer radio en posición neutra, máxima dorsiflexión y máxima plantarflexión			
	Muestra total (n = 60)	Pie derecho (n = 32)	Pie izquierdo (n = 28)
Movimiento en dorsiflexión (mm)	5.91 ± 0.33	6.19 ± 0.48	5.59 ± 0.44
Movimiento en plantarflexión (mm)	4.92 ± 0.36	5.04 ± 0.55	4.78 ± 0.46
Movimiento total (mm)	10.84 ± 0.54	11.24 ± 0.74	10.38 ± 0.80

Tabla III. Movimiento del primer radio en el plano frontal en todos los participantes (media \pm desviación estándar) y en mujeres y hombres. Los movimientos se han obtenido calculando la diferencia entre el ángulo formado por una línea horizontal y una línea que une los puntos 1 y 2 con el primer radio en posición neutra, en máxima dorsiflexión y máxima plantarflexión

	Muestra total (n = 60)	Hombres (n = 19)	Mujeres (n = 41)
Ángulo en máxima dorsiflexión (grados)	56.37 \pm 0.79	56.58 \pm 1.47	56.27 \pm 0.96
Rotación durante la dorsiflexión (grados)	2.67 \pm 0.52	2.32 \pm 0.82	2.83 \pm 0.66
Ángulo en posición neutra (grados)	53.60 \pm 0.75	53.95 \pm 1.50	53.44 \pm 0.86
Ángulo en máxima plantarflexión (grados)	50.85 \pm 0.74	51.63 \pm 1.50	50.49 \pm 0.84
Rotación durante la plantarflexión (grados)	2.97 \pm 0.36	3.00 \pm 0.60	2.95 \pm 0.45
Movimiento total (grados)	5.63 \pm 0.64	5.32 \pm 0.90	5.78 \pm 0.84

Tabla IV. Movimiento del primer radio en el plano frontal en todos los participantes (media \pm desviación estándar) y en pies derechos e izquierdos. Los movimientos se han obtenido calculando la diferencia entre el ángulo formado por una línea horizontal y una línea que une los puntos 1 y 2 con el primer radio en posición neutra, en máxima dorsiflexión y máxima plantarflexión

	Muestra total (n = 60)	Pie derecho (n = 32)	Pie izquierdo (n = 28)
Ángulo en máxima dorsiflexión (grados)	56.37 \pm 0.79	56.06 \pm 0.99	56.71 \pm 1.29
Rotación durante la dorsiflexión (grados)	2.67 \pm 0.52	2.31 \pm 0.71	3.07 \pm 0.77
Ángulo en posición neutra (grados)	53.60 \pm 0.75	53.75 \pm 1.05	53.43 \pm 1.09
Ángulo en máxima plantarflexión (grados)	50.85 \pm 0.74	50.81 \pm 1.05	50.89 \pm 1.06
Rotación durante la plantarflexión (grados)	2.97 \pm 0.36	2.94 \pm 0.50	3.00 \pm 0.53
Movimiento total (grados)	5.63 \pm 0.64	5.25 \pm 0.81	6.07 \pm 1.01

bres y mujeres de forma independiente y en la Tabla II hemos comparado los valores entre pies derechos e izquierdos. No se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en estas tres variables entre hombres y mujeres (recorrido dorsal $t = 1.25$, $p = 0.215$; recorrido plantar $t = -0.30$, $p = 0.765$; recorrido total $t = 0.55$, $p = 0.582$), ni entre pies izquierdos y pies derechos (recorrido dorsal $t = -0.89$, $p = 0.376$; recorrido plantar $t = -0.35$, $p = 0.721$; recorrido total $t = -0.78$, $p = 0.438$).

En las Tablas III y IV se muestran los resultados del movimiento del primer radio en el plano frontal. En la Tabla III hemos realizado comparaciones entre sexos y en la Tabla IV según su lateralidad. El movimiento en el plano frontal consiste en el valor del ángulo formado por la línea que une los puntos 1 y 2 y una horizontal en las tres posiciones (neutra, máxima dorsiflexión y máxima plantarflexión). No se obtuvieron diferencias significativas en estas tres variables entre hombres y mujeres (ángulo en posición neutra $U = 337.00$, $p = 0.403$; ángulo en máxima dorsiflexión $t = 0.18$, $p = 0.858$; ángulo en máxima plantarflexión $t = 0.71$, $p = 0.480$; inversión $t = -0.45$, $p = 0.652$; eversión $t = 0.06$, $p = 0.951$; recorrido total $t = -0.33$, $p = 7.39$), ni entre pies izquierdos y pies derechos (ángulo en posición neutra $U = 445.00$, $p = 0.964$; ángulo en máxima dorsiflexión $t = 0.40$, $p = 0.687$; ángulo en máxima plantarflexión $t = 0.05$, $p = 0.958$; inversión $t = 0.72$, $p = 0.474$; eversión $t = 0.85$, $p = 0.933$; recorrido total $t = 0.63$, $p = 0.527$).

Hemos calculado cuántos grados de desplazamiento se producen en el plano frontal por cada milímetro de desplazamiento en el plano sagital. Para ello dividimos los grados de rotación (5.63°) entre los milímetros de desplazamiento (10.84 mm), dando como resultado 0.52 grados de movimiento en el plano frontal por cada milímetro de desplazamiento en el plano sagital en sujetos con primer radio normal.

DISCUSIÓN

El principal objetivo de esta investigación fue cuantificar el movimiento normal del primer radio. Los resultados obtenidos revelan que para los participantes de este estudio el movimiento del primer radio se produjo simultáneamente en el plano sagital y en el plano frontal, siendo 10.84 ± 0.54 mm en el plano sagital (5.91 mm de dorsiflexión y 4.92 mm de plantarflexión) y 5.63 ± 0.64 grados en el plano frontal (2.67 grados de inversión y 2.97 grados de eversión).

En la revisión bibliográfica hemos encontrado tres estudios que miden el movimiento del primer radio utilizando la unidad de longitud (mm) para el plano sagital y la medida angular (grados) para el plano frontal, uno que realizaron estos mismos autores en 2018 en sujetos normales³⁰, otro igualmente realizado por estos mismos autores en 2020 en

sujetos normales y con HAV³¹, y otro encontrado en la bibliografía realizado en cadáveres⁴.

Los estudios que hicimos previamente presentan características similares a este y parte de sus objetivos fue cuantificar movimiento normal del primer radio en los planos sagital y frontal. Los resultados que se obtuvieron en el estudio de 2018 mostraron que el movimiento del primer radio fue de 12.6 mm en el plano sagital y 5.66 grados en el plano frontal³⁰. Al comparar estos resultados con los actuales, podemos observar que en el plano sagital el movimiento total del primer radio en sujetos normales fue de 2 mm más que en este estudio. Pensamos que esto puede ser debido a que en el estudio de 2018 uno de los dos examinadores era distinto. Sin embargo, en el plano frontal los valores son similares. Por otro lado, determinamos que por cada milímetro de desplazamiento en el plano sagital se produjeron 0.45 grados de movimiento en el plano frontal, siendo estos resultados similares a los de este estudio.

En el estudio realizado en 2020 se comparó el movimiento del primer radio en pies normales y en pies con HAV. Los resultados que se obtuvieron para el grupo control fueron 8.51 mm en el plano sagital y 5.84 grados en el plano frontal. Al comparar estos resultados con los actuales podemos observar que en el plano sagital el movimiento total del primer radio en sujetos normales fue de 2 mm menos que en este estudio. Pensamos que esto puede ser debido a que en el estudio previo se consideró como criterio de exclusión la hiper movilidad del primer radio. Sin embargo, en el plano frontal los valores son similares. También se determinó que por cada milímetro de desplazamiento en el plano sagital se produjeron 0.69 grados de movimiento en el plano frontal, siendo estos resultados similares a los del presente estudio.

El estudio de Kelso y cols.⁴ fue realizado en 1982 con cadáveres. En este amputaron el *hallux* a la altura de la articulación metatarsofalángica, insertaron una aguja en el primer metatarsiano y colocaron un inclinómetro. Luego aplicaron una fuerza manual hacia una posición en dorsiflexión y plantarflexión y midieron el rango de movimiento tanto en el plano sagital como en el frontal. Los resultados obtenidos fueron que el rango total de movimiento del primer radio en el plano sagital fue de 12.38 mm y en el plano frontal de 8.23 grados. Al comparar estos resultados con nuestro estudio podemos observar que tanto en el plano sagital como en el frontal el movimiento del primer radio fue mayor. Pensamos que esto puede ser debido a que, al amputar el *hallux* a la altura de la primera articulación metatarsofalángica y seccionar los ligamentos colaterales medial y lateral, cápsula articular y ligamento tarsometatarsiano, ello pudo provocar que el primer radio presentara mayor libertad de movimiento en ambos planos que el que se podría observar *in vivo*. Por otro lado, Kelso y cols.⁴ determinaron que se producían 0.77 grados de movimiento en el plano frontal por cada milímetro de movimiento en el plano sagital, siendo estos resultados menos parecidos a los nuestros.

En la bibliografía consultada se ha encontrado mucha discrepancia en la forma de cuantificar el rango de movimiento del primer radio. El elevado número de articulaciones que par-

ticipan en este movimiento da como resultado que sea difícil de cuantificar de manera precisa y en ocasiones lleve a opiniones contradictorias por parte de los distintos autores. Según nuestro conocimiento, el primer autor que estudió el movimiento del primer radio fue Hicks¹³ en 1953, quien apuntó ya que el primer radio hacía movimientos de dorsiflexión-inversión y de plantarflexión-eversión, con un rango total de movimiento de 22 grados. Más adelante, Kelikian³², en 1965, afirmó que la articulación cuneometatarsiana permitía 10-15 grados de movimiento pasivo en el plano sagital, y que en el plano transversal era la mitad de este rango de movimiento. Ebisui¹⁵, en su estudio con cadáveres en 1968, determinó que el primer radio realizaba movimientos de dorsiflexión-inversión durante la pronación del pie y plantarflexión-eversión durante la supinación, y que estos movimientos ocurrían alrededor del eje descrito por Hicks¹³. Este hallazgo es también compartido por Sarrafian³³ y Root y cols.¹⁶, quienes además aseguraron que por cada grado de movimiento en el plano sagital se producía otro grado de movimiento en el plano frontal. Sin embargo, estos autores no reportaron estudios de los que se hubiera obtenido esa conclusión.

Existen autores que han estudiado la movilidad de estas articulaciones en primeros radios normales, tanto en el plano sagital como en el frontal, y sus resultados están basados en imágenes radiográficas^{7,17,18} y en investigaciones con cadáveres^{20,27,28}.

Los resultados de los autores que realizaron sus estudios con mediciones en radiografías se comentan a continuación. Fritz y Prieskorn¹⁷ en 1995 realizaron 100 radiografías laterales en carga del pie con el primer metatarsiano en máxima dorsiflexión y plantarflexión usando el test del bloque de Coleman modificado. Determinaron que el movimiento total en el plano sagital de la articulación cuneometatarsiana fue de 4.4 grados. Prieskorn y cols.¹⁸ en 1996 realizaron 100 radiografías usando la misma metodología y encontraron que la media del movimiento total en el plano sagital de la articulación cuneometatarsiana fue de 4.2 grados. King y Toolan⁷ en 2004 realizaron radiografías laterales y obtuvieron como resultados que la dorsiflexión de la articulación cuneometatarsiana fue de 0.2 grados.

En cuanto a los autores que realizaron sus investigaciones con cadáveres, encontramos a Gellman y cols.²⁷, que en 1987 calcularon el movimiento de la primera articulación cuneometatarsiana en el plano sagital, siendo esta de 11.51 grados (5.81 grados de dorsiflexión y 5.70 grados de plantarflexión) y el total de movimiento en el plano frontal fue de 7.23 grados (3.2 grados de inversión y 3.6 grados de eversión). Ouzounian y Shreff²⁸ en 1989 encontraron que la media de movimiento de la articulación cuneometatarsiana en el plano sagital fue de 3.5 grados y en el plano frontal 1.5 grados. En la articulación cuneoescafoidea en el plano sagital fue de 5.0 grados y en el plano frontal 7.3 grados. Roling y cols.²⁰ en 2002 concluyeron que el movimiento sagital total de la primera articulación cuneometatarsiana fue de 6.4 grados.

Como podemos observar, los autores, al estudiar el rango de movimiento del primer radio, lo hacen distinguiendo el

movimiento en cada articulación de forma independiente, a diferencia de este trabajo, en el que hemos valorado el movimiento global tomando como referencia la cabeza del primer metatarsiano, tal y como se hace en la exploración clínica de los pacientes. Queremos resaltar que las unidades de medida para evaluar el movimiento del primer radio han sido en grados, siendo esto una desventaja a la hora de querer comparar estos resultados con los nuestros, sobre todo en el plano sagital, que es el movimiento de mayor significación clínica. Los únicos dos estudios que han utilizado las mismas unidades de medida que nosotros fueron el de Kelso⁴ y nuestro estudio previo³⁰, que ya hemos discutido al inicio de este apartado. Dicho esto, solo podemos comparar los resultados obtenidos en el plano frontal. En el movimiento total obtuvimos 5.63 grados, valor 1.6 grados menor al obtenido por Gellman y cols.²⁷ y Ouzounian y Shereff²⁸ en la articulación cuneoescafoidea, y 4 grados mayor al obtenido por Ouzounian y Shereff²⁸ en la articulación cuneometatarsiana. Con respecto a la inversión obtuvimos 2.67 grados, valor 0.53 grados menor al de Gellman y cols.²⁷ en la articulación cuneometatarsiana.

En términos generales, podríamos considerar como limitaciones de este estudio las siguientes:

En la metodología hemos utilizado imágenes bidimensionales para valorar elementos tridimensionales. Se ha intentado disminuir en lo posible el riesgo de errores relacionados con este aspecto siguiendo un protocolo radiológico estandarizado y riguroso. En investigaciones previas se ha demostrado que cuando las radiografías se realizan con el mismo protocolo, las diferencias con la realidad pueden llegar a no ser significativas, al menos en cuanto al primer segmento metatarsodigital³⁴. El movimiento del primer radio no fue diferenciado en los distintos niveles articulares correspondientes a la columna medial del pie. En su lugar, hemos tratado de cuantificar la movilidad de la cabeza del primer metatarsiano, ya que es clínicamente más relevante en la evaluación manual del primer radio y es la maniobra que se realiza con más frecuencia en la actividad clínica diaria. Solo se han incluido primeros radios normales, por lo que los resultados pueden variar con otras patologías (por ejemplo, HAV, HR, primer radio plantarflexionado, etc.).

En futuras investigaciones sería oportuno incluir a sujetos con otras patologías, como por ejemplo HAV, HL, HR o primer radio plantarflexionado, para estudiar el desplazamiento del primer radio en estas condiciones.

En conclusión, en los participantes de este estudio se observó que al realizar la dorsiflexión en el plano sagital la cabeza del primer metatarsiano se invirtió, y al realizar la plantarflexión el primer radio se evertió, por lo que se produjeron movimientos tanto en el plano sagital como en el frontal. Los valores obtenidos en el plano sagital en toda la muestra fueron: dorsiflexión 5.91 ± 0.33 mm, plantarflexión 4.92 ± 0.36 mm y movimiento total 10.84 ± 0.54 mm. El movimiento en el plano frontal fue de 2.67 ± 0.52 grados de inversión durante la dorsiflexión, 2.97 ± 0.36 grados durante la plantarflexión y 5.63 ± 0.64 grados de movimiento total. En

los participantes de este estudio se produjeron 0.52 grados de movimiento en el plano frontal por cada milímetro de desplazamiento en el plano sagital.

CONFLICTO DE INTERESES

No hay conflicto de intereses por parte de los autores.

FINANCIACIÓN

Ninguna.

BIBLIOGRAFÍA

- Munuera-Martínez PV. El primer radio. Biomecánica y Ortopodología. 2a ed. Santander: Exa Editores SL; 2009.
- Johnson CH, Christensen JC. Biomechanics of the first ray. Part I. The effects of peroneus longus function: a three-dimensional kinematic study on a cadaver model. *J Foot Ankle Surg.* 1999;38(5):313-21. DOI: 10.1016/S1067-2516(99)80002-7.
- Roukis TS, Landsman AS. Hypermobility of the first ray: a critical review of the literature. *J Foot Ankle Surg.* 2003;42(6):377-90. DOI: 10.1053/j.jfas.2003.09.010.
- Kelso S, Richie D, Cohen I, Weed J, Root M. Direction and range of motion of the first ray. *J Am Podiatr Med Assoc.* 1982;72(12):600-5. DOI: 10.7547/87507315-72-12-600.
- Kimura T, Kubota M, Taguchi T, Suzuki N, Hattori A, Marumo K. Evaluation of first-ray mobility in patients with hallux valgus using weight-bearing CT and a 3-D analysis system. *J Bone Joint Surg.* 2017;99(3):247-55. DOI: 10.2106/JBJS.16.00542.
- Geng X, Wang C, Ma X, Wang X, Huang J, Zhang C, et al. Mobility of the first metatarsal-cuneiform joint in patients with and without hallux valgus: in vivo three-dimensional analysis using computerized tomography scan. *J Orthop Surg Res.* 2015;10(1):140. DOI: 10.1186/s13018-015-0289-2.
- King D, Toolan B. Associated deformities and hypermobility in hallux valgus: an investigation with weightbearing radiographs. *Foot Ankle Int.* 2004;25(4):251-5. DOI: 10.1177/107110070402500410.
- Cornwall MW, McPoil TG, Fishco WD, O'Donnell D, Hunt L, Lane C. The influence of first ray mobility on forefoot plantar pressure and hindfoot kinematics during walking. *Foot Ankle Int.* 2006;27(7):539-47. DOI: 10.1177/107110070602700710.
- Glasoe W, Allen M, Saltzman C. First ray dorsal mobility in relation to hallux valgus deformity and first intermetatarsal angle. *Foot Ankle Int.* 2001;22(2):98-101. DOI: 10.1177/107110070102200203.
- Dananberg HJ. Gait style as an etiology to chronic postural pain. Part I. Functional hallux limitus. *J Am Podiatr Med Assoc.* 1993;83(8):433-41. DOI: 10.7547/87507315-83-8-433.
- Dananberg HJ. Sagittal plane biomechanics. *American Diabetes Association. J Am Pod Med Assoc.* 2000;90(1):47-50. DOI: 10.7547/87507315-90-1-47.
- Klaue K, Hansen ST, Masquelet AC. Clinical, quantitative assessment of first tarsometatarsal mobility in the sagittal plane and its relation to hallux valgus deformity. *Foot Ankle Int.* 1994;15(1):9-13. DOI: 10.1177/107110079401500103.
- Hicks JH. The mechanics of the foot. I. The joints. *J Anat.* 1953;87(4):345-57.
- Root M, Orien W, Weed J. Normal and abnormal function of the foot, vol 2. Los Angeles: Clinical Biomechanics Corp; 1977.
- Ebisui J. The first ray axis and the first metatarsophalangeal joint: an anatomical and pathomechanical study. *J Am Podiatr Med Assoc.* 1968;58(4):160-8. DOI: 10.7547/87507315-58-4-160.
- Root M, Orien W, Weed J, Hughes R. Biomechanical Examination of the Foot, vol 1. Los Angeles: Clinical Biomechanics Corp; 1971.
- Fritz GR, Prieskorn D. First metatarsocuneiform motion: a radiographic and statistical analysis. *Foot Ankle Int.* 1995;16(3):117-23. DOI: 10.1177/107110079501600302.

18. Prieskorn DW, Mann RA, Fritz G. Radiographic assessment of the second metatarsal: measure of first ray hypermobility. *Foot Ankle Int.* 1996;17(6):331-3. DOI: 10.1177/107110079601700606.
19. Faber FW, Kleinrensink GJ, Verhoog MW, Vijn AH, Snijders CJ, Mulder PG, et al. Mobility of the first tarsometatarsal joint in relation to hallux valgus deformity: anatomical and biomechanical aspects. *Foot Ankle Int.* 1999;20(10):651-6. DOI: 10.1177/107110079902001007.
20. Roling BA, Christensen JC, Johnson CH. Biomechanics of the first ray. Part IV: the effect of selected medial column arthrodeses. A three-dimensional kinematic analysis in a cadaver model. *J Foot Ankle Surg.* 2002;41(5):278-85. DOI: 10.1016/S1067-2516(02)80045-X.
21. Glasoe WM, Yack HJ, Saltzman CL. Measuring first ray mobility with a new device. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999;80(1):122-4. DOI: 10.1016/S0003-9993(99)90320-9.
22. Wallace W, Kilmartin T. Predicting hallux abducto valgus. *J Am Podiatr Med Assoc.* 1990;80(9):509-10. DOI: 10.7547/87507315-80-9-509.
23. Lee KT, Young K. Measurement of first-ray mobility in normal vs. hallux valgus patients. *Foot Ankle Int.* 2001;22(12):960-4. DOI: 10.1177/107110070102201206.
24. Samimi R, Green D, Green R, Agan D. Evaluation of first metatarsophalangeal range of motion pre and post bunion surgery: a clinical and radiographic correlation with stress lateral dorsiflexion views. In: *Podiatry Institute Update*; 2010. p. 178-91. http://www.podiatryinstitute.com/pdfs/Update_2010/2010_33.pdf
25. Greisberg J, Prince D, Sperber L. First ray mobility increase in patients with metatarsalgia. *Foot Ankle Int.* 2010;31(11):954-8. DOI: 10.3113/FAI.2010.0954.
26. Greisberg J, Sperber L, Prince D. Mobility of the first ray in various foot disorders. *Foot Ankle Int.* 2012;33(1):44-9. DOI: 10.3113/FAI.2012.0044.
27. Gellman H, Lenihan M, Halikis N, Botte MJ, Giordani M, Perry J. Selective tarsal arthrodesis: an in vitro analysis of the effect on foot motion. *Foot Ankle Int.* 1987;8(3):127-33. DOI: 10.1177/107110078700800302.
28. Ouzounian TJ, Shereff MJ. In vitro determination of midfoot motion. *Foot Ankle.* 1989;10(3):140-6. DOI: 10.1177/107110078901000305.
29. Kirby K. Biomechanics of the normal and abnormal foot. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2000;90(1):30-4. DOI: 10.7547/87507315-90-1-30.
30. Távora-Vidalón SP, Monge-Vera MÁ, Lafuente-Sotillos G, Domínguez-Maldonado G, Munuera-Martínez PV. Static range of motion of the first metatarsal in the sagittal and frontal planes. *J Clin Med.* 2018;7(11):456. DOI: 10.3390/jcm7110456.
31. Munuera-Martínez PV, Távora-Vidalón P, Monge-Vera MA, Sáez-Díaz A, Lafuente-Sotillos G. The validity and reliability of a new simple instrument for the measurement of first ray mobility. *Sensors.* 2020;20(8):1-16. DOI: 10.3390/s20082207.
32. Kelikian H. *Hallux Valgus, allied deformities of the forefoot and metatarsalgia.* Philadelphia: WB Saunders; 1965. DOI: 10.1097/00000441-196601000-00019.
33. Sarrafian SK. Functional characteristics of the foot and plantar aponeurosis under tibiotalar loading. *Foot Ankle.* 1987;8(1):4-18. DOI: 10.1177/107110078700800103.
34. Davitt J, Kadel N, Sangeorzan B, Hansen S, Holt S, Donaldson-Fletcher E. An association between functional second metatarsal length and midfoot arthrosis. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(4):795-800. DOI: 10.2106/00004623-200504000-00015.