



ORIGINAL

Artículo bilingüe español/inglés

Rev Esp Podol. 2023;34(1):3-12

DOI: <http://dx.doi.org/10.20986/revesppod.2023.1654/2022>

Ganador Premio Virginia Novel 2022

Estimación de la osificación de los huesos del pie sobre población extremeña. Estudio observacional

Estimation of the ossification of the bones of the foot about the population of Extremadura. Observational study

Paula Cobos Moreno¹, Álvaro Astasio Picado² y Beatriz Gómez-Martín¹

¹Centro Universitario de Plasencia, Universidad de Extremadura. Cáceres, España. ²Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad de Castilla-La Mancha. Toledo, España

Palabras clave:

Ossificación, pie, radiología, crecimiento óseo.

Keywords:

Ossification, foot, radiology, bone growth.

Resumen

Objetivos: La estimación de la edad de un individuo es un tema de interés dentro del ámbito de la Medicina Legal y Forense. Una de las herramientas más utilizadas para este fin es la Radiología. Los objetivos son la cuantificación de las edades de osificación de cada hueso del pie y determinar si existe relación entre la osificación de los huesos y el sexo del individuo.

Pacientes y métodos: La población de estudio se compuso de 2476 radiografías digitales, pertenecientes a un total de 816 sujetos en periodo de crecimiento. El análisis de las imágenes se realizó mediante la aplicación del método validado y diseñado para la estimación de la edad en meses sobre la radiografía del esqueleto del pie.

Resultados: Sí existe diferencia en la osificación ósea de la población extremeña frente a la literatura (p valor < 0.05). Todos los huesos que forman el Tarso poseen significación estadística en la comparación por sexos a excepción del cuboides, el cuneiforme medial y el cuneiforme lateral.

Conclusiones: Sí existe diferencia significativa en la osificación de hueso del pie entre sexos y entre poblaciones de diferente raza.

Abstract

Objectives: The estimation of the age of an individual is a topic of interest within the field of Legal and Forensic Medicine. One of the most used tools for this purpose is Radiology. The objectives of the present work are the quantification of the ages of ossification of each bone of the foot and to determine if there is a relationship between the ossification of the bones and the sex of the individual.

Patients and methods: The study population was made up of 2476 digital radiographs, belonging to a total of 816 subjects in the growth period. The analysis of the images was carried out by applying the method validated and designed for the estimation of age in months on the X-ray of the skeleton of the foot.

Results: If there is a difference in the bone ossification of the population of Extremadura compared to the literature (p value $< 0,05$). All the bones that form the tarsus have statistical significance in the comparison by sex, except for the Cuboid, the Medial Cuneiform and the Lateral Cuneiform.

Conclusions: If there is a significant difference in foot bone ossification between sexes and between populations of different races.

Recibido: 18-12-2022

Aceptado: 12-01-2023



0210-1238 © Los autores. 2023.
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:

Álvaro Astasio Picado
alvaro.astasio@uclm.es

Introducción

La estimación de la edad de un individuo es un tema de interés dentro del ámbito de la Medicina Legal y Forense. Una de las herramientas más utilizadas para este fin es la Radiología. Esta disciplina médica permite llevar a cabo ciertos estudios relevantes, tanto en sujetos vivos como en restos cadavéricos, lo que implica un mayor interés mostrado por ciertas disciplinas médicas como la Antropología Física y Forense^{1,2}.

El proceso de osificación del ser humano sigue una secuencia de acontecimientos fisiológicos identificables en la estructura ósea del esqueleto, tanto en el examen morfológico directo, como en la observación de estos mediante radiografía (Figura 1). En la práctica clínica es importante conocer con precisión la edad ósea de individuos en crecimiento para evaluar su estado de desarrollo, y así establecer una correspondencia con la edad cronológica del sujeto³.

El desarrollo filogenético similar de las extremidades humanas hace pensar que la ontología del miembro inferior pueda tener muchos puntos en común con el desarrollo del miembro superior⁴.

Debido a que el pie demuestra poseer unos parámetros madurativos válidos para el uso en estudios legales y estimación de la edad⁵, y la utilización de una radiografía de mano para la valoración ósea, en los dos primeros años de vida tiene una serie de limitaciones, y el pie puede ser útil para completar el estudio de ciertos individuos, sobre todo en aquellos que por circunstancias especiales no puedan ser sometidos a exámenes radiográficos de muñeca (por ausencia de las mismas, agenesias o hipoplasias derivadas del crecimiento) o de dentición (por falta de la mayoría de piezas dentarias)⁵.

Los estudios encontrados en la literatura científica que utilizan el pie como estructura dotada de interés en la predicción de la edad no contemplan la totalidad del proceso de crecimiento humano, acotando las conclusiones en la mayoría de los casos a edades muy tempranas o muy avanzadas, despreciando así un amplio abanico de edad que nosotros consideramos puede ser de utilidad en la práctica clínica diaria²⁻⁴.

La maduración ósea se encuentra directamente influenciada por factores intrínsecos como la raza y el sexo de cada individuo, así como por factores socioeconómicos o la nutrición⁷. El esqueleto del sexo femenino osifica antes que el masculino; además, la osificación se produce siguiendo un desarrollo simétrico y pueden sucederse variaciones individuales en la osificación de origen y carácter hereditario⁸. Por tanto, la estimación de la edad ósea implica la observación de rasgos morfológicos en el esqueleto, así como la comparación de los hallazgos obtenidos sobre poblaciones recientes con edades conocidas similares a las del sujeto susceptible de estudio⁵.

El estudio de la maduración ósea para establecer la edad en individuos objeto de diagnóstico clínico se compone de multitud de investigaciones orientadas a conseguir nuevos métodos que faciliten la lectura radiográfica y que se aproximen con exactitud a la valoración de la edad ósea. La mayoría de los métodos publicados en la literatura científica hacen referencia al estudio radiológico de la región anatómica del carpo. La utilización de métodos métricos o computarizados se exponen ante la comunidad científica como alternativa para facilitar la labor clínica. Sin embargo, no son considerados métodos de primera elección al igual que las radiografías de la mitad del esqueleto, descartadas por la experiencia que se requiere del observador y el exceso de radiación que absorbe el paciente^{9,10}.



Figura 1. Radiografía oblicua de los huesos del pie.

En la actualidad, los métodos más utilizados para el estudio de la maduración ósea se dividen en dos grandes grupos: los métodos cualitativos, representados por el atlas GP¹¹, y los métodos de puntuación, cuya referencia fundamental radica en el atlas TW¹². Ambos son llevados a cabo sobre radiografías del carpo.

Además, muchos de ellos son antiguos, poseen una muestra escasa, se plantean sobre población muy distinta a la caucásica (población de referencia en el territorio español)^{13,14} o no contemplan la totalidad de los huesos del pie⁶, lo que permite plantear una nueva investigación que mejore estas premisas y, en consecuencia, permita obtener unas conclusiones válidas y actualizadas¹⁵.

Por todo ello, creemos que este proyecto de investigación puede aportar datos interesantes al conocimiento científico y utilidad clínica en la determinación de la data y predicción de la edad.

Se marcan como objetivos la cuantificación de las edades de osificación de cada hueso del pie y determinar si existe relación entre la osificación de los huesos y el sexo del individuo.

Pacientes y métodos

Tipo de estudio y tamaño muestral

De acuerdo con lo descrito por Argimón¹⁶, el presente estudio es transversal, descriptivo, observacional y retrospectivo.

La población de estudio se compuso de 2476 radiografías digitales, pertenecientes a un total de 816 sujetos en periodo de crecimiento, lo que supone una media de 3.04 proyecciones radiográficas por individuo.

Las radiografías constan de proyecciones dorso-plantares en carga, laterales en carga y oblicuas de pies, tanto derechos como izquierdos, efectuadas por los Servicios de Radiodiagnóstico del Servicio Extremeño de Salud (SES), lo que supone la totalidad de imágenes almacenadas por el SES en el intervalo de tiempo comprendido entre enero del 2007 y febrero del 2011, de sujetos con edades que abarcan desde el nacimiento hasta los 21 años. Esto supone que el estudio cuenta con la totalidad de la población extremeña en periodo de crecimiento sometida a examen radiológico del pie entre 2007 y 2011.

Las imágenes digitales se extrajeron directamente del PACS, o repositorio único de imágenes digitales de la Comunidad Autónoma de Extremadura, parcialmente anonimizadas.

Criterios de inclusión

Tras recibir del SES las radiografías digitales, se procedió a su selección y exclusión de aquellas pertenecientes a sujetos que por sus características pudieran sesgar los resultados finales del estudio.

La totalidad de las radiografías se realizaron a sujetos sometidos a examen radiológico por distintos motivos, la mayoría de ellos traumáticos, en los que no existieron lesiones que afectaran a estructuras óseas (principalmente fracturas). Se considera, por tanto, motivo de exclusión de la muestra aquellos sujetos que hubieran sido radiados por motivos tales como: estudios de crecimiento, intervenciones quirúrgicas (radiografías pre o postquirúrgicas) y alteraciones estructurales, funcionales o traumáticas evidentes que afecten a la morfología ósea.

Asimismo, se excluyeron del estudio aquellas radiografías que presentaban artefactos radiológicos, fueron realizadas en descarga, con visibilidad dudosa o fallos técnicos derivados de una posición incorrecta del pie a la hora de realizar la radiografía, con el fin de minimizar la posible inseguridad resultante de la duda inter e intra explorador ante la observación de las radiografías.

Equipamiento

Las imágenes que constituyen la muestra de estudio se extraen del único repositorio de imagen médica que existe en la Comunidad Autónoma de Extremadura. El PACS se encuentra centralizado en la ciudad de Mérida en las instalaciones de la Subdirección de Sistemas del SES, donde se encuentra el punto de unión de todas las Unidades de radiodiagnóstico de la Comunidad.

Para la realización de este estudio, y conforme a las características descriptivas del mismo, se consideraba necesario partir de una muestra amplia que pudiera considerarse un referente poblacional para la Comunidad Autónoma de Extremadura. Para ello, se realiza una solicitud formal al SES, ya que es el único Organismo en toda la Comunidad Autónoma que posee un repositorio único de imágenes médicas digitales donde se almacenan la totalidad de estudios radiográficos realizados en la Sanidad pública de Extremadura.

Una vez realizadas las descargas de los estudios radiológicos, se grabaron en soportes tipo DVD y se enviaron al Centro Universitario de Plasencia UEX (Universidad de Extremadura) acompañados de un software tipo DICOM para poder llevar a cabo su visualización en cualquier ordenador, previa instalación del programa.

Una vez recibidas las muestras, se procedió a su selección aplicando los criterios de inclusión y exclusión explicados anteriormente. Una vez obtenido el extracto válido, se procedió al análisis de las radiografías aplicando el método que a continuación se describe y acumulando las variables de estudio en una hoja de cálculo tipo Excel que permitiera su posterior análisis estadístico.

El análisis de las imágenes se realizó mediante la aplicación del método validado por Whitaker y diseñado para la estimación de la edad en meses sobre la radiografía del esqueleto del pie¹⁴. El método consiste en la aplicación de una escala graduada de estadios de osificación para cada uno de los huesos que constituyen el pie en crecimiento. El sistema posee tres escalas independientes aplicables a cada hueso del pie, siempre que este se encuentre en proceso formativo: escala para valorar el grado de maduración del primer núcleo de osificación, escala para valorar el grado de maduración

del segundo núcleo de osificación y escala para valorar el grado de unión entre ambos.

La visualización y análisis de las radiografías se llevaron a cabo por dos investigadores distintos que visualizarían las mismas radiografías en intervalos de tiempo distintos en grupos de 20 proyecciones por sesión. Estas personas forman parte del personal docente e investigador de la Universidad de Extremadura UEX, profesores/as del Grado de Podología del Centro Universitario de Plasencia y podólogos/as asistenciales de la Clínica Podológica Universitaria de la UEX.

Además, los análisis de las series de 20 radiografías se visualizaron por la misma persona tres veces, separadas por un periodo de tiempo de 5 días.

Análisis estadístico

Los datos se han analizado con el paquete informático SPSS versión 19.0 para Windows. Se describió la edad y el sexo de la población de estudio. Se aportó el análisis descriptivo de cada variable de estudio compuesto por: escala de grados de osificación, número de casos, edad media de osificación correspondiente expresada en meses, desviación típica, intervalo de confianza al 95 % e intervalos inferior y superior expresados en meses. Se comparó el tiempo de osificación encontrado en el estudio con los resultados de la bibliografía existente para cada uno de los diferentes huesos del pie. Además, se realizó una comparación entre niños y niñas mediante una prueba de t de Student para valorar diferencias en la osificación de los distintos huesos del pie. Todo lo anterior, necesario para la consecución del objetivo de este estudio consistente en la cuantificación y actualización de las edades de osificación de cada hueso del pie.

Resultados

Revisión sistemática vs. estudio actual en osificación de los huesos del pie

En la Tabla I podemos observar la osificación total de los huesos que comprenden el pie, comparando a población extremeña frente a lo que dicta la literatura consultada.

Contraste de las edades de osificación con respecto al sexo

El estudio de contraste de datos entre las edades de osificación en niñas y niños se realiza mediante la aplicación de la distribución t de Student para muestras pareadas y el Test de Levene de homogeneidad de varianzas, para verificar la hipótesis de igualdad de varianzas entre ambos sexos.

Todos los huesos que forman el tarso poseen significación estadística en la comparación por sexos a excepción del cuboide, el cuneiforme medial y el cuneiforme lateral. El resto de huesos del tarso poseen una diferencia explícita (valor $p \leq 0.05$) que se traduce en una diferencia entre el grado de osificación y la velocidad de la misma más tardía y lenta para el sexo masculino (Tabla II).

De igual modo, el estudio de los metatarsianos muestra un retraso de osificación de los niños con respecto a las niñas. Todos los núcleos de osificación del metatarso son significativos, sin embargo, cabe destacar cómo el primer núcleo de osificación de los metatarsianos posee una diferencia por sexos mayor de 5 a 6 años (61 a

72 meses con valor $p \leq 0.011$). Lo mismo ocurre en con la osificación del segundo osículo metatarsal entre los 7 y 8 años (85 a 96 meses con valor $p \leq 0.004$). Las fusiones entre núcleos primario y secundario poseen su mayor significación estadística en torno al intervalo de edad media de 14 a 15 años (169-180 meses con valor $p \leq 0.000$), donde se hace más evidente el retraso en la velocidad de osificación en sexo masculino frente al femenino (Tabla III).

Con respecto a los resultados obtenidos acerca de las diferencias de osificación entre ambos sexos para los huesos de los dedos, hay que destacar que todas las falanges resultan significativas mostrando retraso en la osificación del sexo masculino con respecto al femenino (Tabla IV).

No obstante, cabe destacar la significación estadística para los primeros núcleos de osificación de las falanges, tanto medias como distales, a partir del intervalo de edad media de 5 a 6 años (61 a 72 meses con valor $p \leq 0.011$). Para los primeros núcleos de osificación de las falanges proximales a partir de los 9 a 10 años (109 a 120 meses con valor $p \leq 0.050$) (Tabla I).

Los segundos núcleos de osificación de las falanges, al igual que las fusiones entre los mismos, poseen un ritmo de osificación más lento para el sexo masculino con respecto al femenino muy claro en el intervalo de edad media entre los 13 y 14 años (157 a 168 meses con valor $p \leq 0.000$) (Tabla I).

Discusión

Nuestro estudio es el único, hasta el momento, que cuenta con la totalidad de la población de la Comunidad Autónoma de Extremadu-

ra sometida a estudio radiológico del pie y tobillo, en individuos en periodo de crecimiento. Por este motivo, a lo largo de la redacción de este trabajo no se incluye el término "muestra" considerándose en su lugar el término "población".

Cabe destacar que la mayoría de los autores con publicaciones científicas relevantes en este ámbito, insisten en las diferencias que implica el estudio de la maduración ósea en distintas poblaciones atendiendo a raza, nivel social o económico⁸, consideramos reseñable contar en este estudio con la totalidad de la comunidad extremeña, en representación de la población española y en su máxima extrapolación a la raza caucásica¹⁷.

Teniendo en cuenta que los resultados obtenidos en una determinada raza no son aplicables a otra, se descartan para la redacción de este punto, aquellos estudios publicados en referencia a otras poblaciones distintas a la española o a otras razas diferentes a la caucásica. Esta premisa nos deja pocas oportunidades para comparar nuestros resultados, ya que el pie es una estructura poco estudiada en el ámbito de la maduración ósea y la determinación de la edad¹⁵.

En líneas generales, los resultados obtenidos tras el complejo estudio de la maduración ósea en los huesos del pie coinciden en la mayoría de los casos con las publicaciones científicas sobre la materia. Sin embargo, si analizamos uno a uno los huesos del pie, podemos observar cómo existen variaciones entre las edades publicadas con respecto a nuestros resultados. Estas diferenciaciones, mínimas en algunos casos, no dejan de aportar información adicional acerca del hueso, lo que permite concretar aún más la estimación de data ósea. Teniendo en cuenta que existen determinadas situaciones en las que la exactitud en la estimación de la edad es

Tabla I. Osificación de los huesos del pie de la población extremeña vs. literatura consultada.

Huesos	Osificación (meses) Revisión sistemática		Osificación (meses) Estudio actual		p valor
	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	
Calcáneo	132-168 (Hoerr, 1962)	120-144 (Hoerr, 1962)	189	143	0.045
Astrágalo	144 (O'Rahilly, 1960; Hoerr, 1962; Tachdjian, 1985; Wakely, 1996)	108 (O'Rahilly, 1960; Hoerr, 1962; Tachdjian, 1985; Wakely, 1996)	156	156	0.004
Cuboides	96 (Scheuer, 2004)	96	156	156	0.003
Escafoides	96 (Becerro de Bengoa, 2004)	96 (Becerro de Bengoa, 2004)	156	156	0.004
Cuneiforme lateral	144 (Scheuer, 2004, Elgenmark, 1943)		156		0.046
Cuneiforme medial					
Cuneiforme intermedio					
Metatarsiano	168-204 (Scheuer, 2004)		192		0.052
Falanges	168-192 (Scheuer, 2004)		172	192	0.055
Sesamoideos	108 (Scheuer, 2004)		108	96	0.034

Tabla II. Huesos del tarso: comparación por sexos de los grados de maduración ósea.

Prueba de contraste para huesos del tarso				
Edad (meses)	Hueso	Sexo	Media	Sig. (t Student)
25-36	Cuña intermedia	F	2.0	0.013
		M	1.4	
37-48	1.º Núcleo escafoides	F	1.7	0.048
		M	1.3	
49-60	1.º Núcleo calcáneo	F	2.0	0.042
		M	2.0	
73-84	2.º Núcleo calcáneo	F	1.4	0.008
		M	1.0	
	Fusión calcáneo	F	0.4	0.008
		M	0.0	
85-96	1.º Núcleo escafoides	F	3.2	0.033
		M	2.8	
97-108	1.º Núcleo astrágalo	F	3.5	0.036
		M	3.2	
	2.º Núcleo astrágalo	F	2.6	0.036
		M	1.8	
	Fusión astrágalo	F	2.7	0.034
		M	1.3	
	1.º Núcleo calcáneo	F	3.6	0.010
		M	3.2	
	Fusión calcáneo	F	2.0	0.045
		M	1.3	
	1.º Núcleo escafoides	F	3.7	0.041
		M	3.5	
109-120	2.º Núcleo astrágalo	F	3.4	0.014
		M	2.7	
	Fusión astrágalo	F	4.1	0.008
		M	2.6	
1.º Núcleo calcáneo	F	3.8	0.037	
	M	3.6		
2º Núcleo calcáneo	F	3.1	0.021	
	M	2.5		
121-132	2.º Núcleo calcáneo	F	3.3	0.027
		M	3.3	
	Fusión calcáneo	F	4.8	0.032
		M	5.0	
157-168	Fusión calcáneo	F	4.4	0.002
		M	3.7	

F: femenino. M: masculino.

Tabla III. Huesos metatarsianos: comparación por sexos de los grados de maduración ósea.

Prueba de contraste para los metatarsianos				
Edad (meses)	Hueso	Sexo	Media	Sig. (t Student)
37-48	Fusión 1 metatarsiano	F	0.9	0.005
		M	0.3	
49-60	2.º Núcleo 4 metatarsiano	F	1.8	0.045
		M	1.4	
	Fusión 4 metatarsiano	F	1.3	0.037
		M	0.5	
61-72	1.º Núcleo 1 metatarsiano	F	2.8	0.011
		M	2.3	
	1.º Núcleo 2 metatarsiano	F	2.8	0.011
		M	2.3	
	1.º Núcleo 3 metatarsiano	F	2.8	0.011
		M	2.3	
1.º Núcleo 4 metatarsiano	F	2.8	0.011	
	M	2.3		
1.º Núcleo 5 metatarsiano	F	2.8	0.011	
	M	2.3		
73-84	Fusión 5 metatarsiano	F	1.9	0.022
		M	1.3	
85-96	2.º Núcleo 1 metatarsiano	F	3.0	0.004
		M	2.5	
	Fusión 1 metatarsiano	F	2.1	0.035
		M	1.7	
	2.º Núcleo 2 metatarsiano	F	3.0	0.004
		M	2.5	
	Fusión 2 metatarsiano	F	2.1	0.035
		M	1.7	
	2.º Núcleo 3 metatarsiano	F	3.0	0.004
		M	2.5	
	Fusión 3 metatarsiano	F	2.1	0.035
		M	1.7	
	2.º Núcleo 4 metatarsiano	F	3.0	0.004
		M	2.5	
Fusión 4 metatarsiano	F	2.1	0.035	
	M	1.7		
2.º Núcleo 5 metatarsiano	F	3.0	0.004	
	M	2.5		
Fusión 5 metatarsiano	F	2.1	0.035	
	M	1.7		

(Continúa en la página siguiente)

Tabla III (Cont.). Huesos metatarsianos: comparación por sexos de los grados de maduración ósea.

Prueba de contraste para los metatarsianos				
Edad (meses)	Hueso	Sexo	Media	Sig. (t Student)
97-108	Fusión 1 metatarsiano	F	2.8	0.026
		M	2.2	
	2.º Núcleo 4 metatarsiano	F	3.2	0.046
		M	2.8	
	2.º Núcleo 5 metatarsiano	F	3.2	0.020
		M	2.8	
Fusión 5 metatarsiano	F	2.6	0.005	
	M	2.1		
109-120	2.º Núcleo 5 metatarsiano	F	2.6	0.033
		M	2.6	
133-144	1.º Núcleo 1 metatarsiano	F	4.0	0.044
		M	3.9	
	1.º Núcleo 2 metatarsiano	F	4.0	0.044
		M	3.9	
	1.º Núcleo 3 metatarsiano	F	4.0	0.044
		M	3.9	
	1.º Núcleo 4 metatarsiano	F	4.0	0.044
		M	3.9	
	1.º Núcleo 5 metatarsiano	F	4.0	0.044
		M	3.9	
145-156	2.º Núcleo 1 metatarsiano	F	3.8	0.004
		M	3.5	
	2.º Núcleo 2 metatarsiano	F	3.8	0.004
		M	3.5	
	2.º Núcleo 3 metatarsiano	F	3.8	0.004
		M	3.5	
2.º Núcleo 4 metatarsiano	F	3.8	0.004	
	M	3.5		
2.º Núcleo 5 metatarsiano	F	3.8	0.004	
	M	3.5		
157-168	Fusión 3 metatarsiano	F	4.0	0.040
		M	3.6	
	Fusión 4 metatarsiano	F	4.0	0.040
		M	3.6	
	Fusión 5 metatarsiano	F	3.9	0.035
		M	3.5	

Tabla III (Cont.). Huesos metatarsianos: comparación por sexos de los grados de maduración ósea.

Prueba de contraste para los metatarsianos				
Edad (meses)	Hueso	Sexo	Media	Sig. (t Student)
169-180	Fusión 1 metatarsiano	F	4.5	0.000
		M	3.6	
	Fusión 2 metatarsiano	F	4.5	0.000
		M	3.7	
	Fusión 3 metatarsiano	F	4.5	0.000
		M	3.7	
Fusión 4 metatarsiano	F	4.5	0.000	
	M	3.7		
Fusión 5 metatarsiano	F	4.5	0.000	
	M	3.7		
193-204	Fusión 1 metatarsiano	F	5.0	0.044
		M	4.8	
	Fusión 2 metatarsiano	F	5.0	0.044
		M	4.8	
	Fusión 3 metatarsiano	F	5.0	0.044
		M	4.8	
Fusión 4 metatarsiano	F	5.0	0.044	
	M	4.8		
Fusión 5 metatarsiano	F	5.0	0.044	
	M	4.8		

F: femenino. M: masculino.

de extrema importancia (diagnósticos clínicos en alteraciones de crecimiento, vinculaciones legales, estimación de la data de restos óseos o procesos judiciales, entre otros), consideramos de gran interés poder concretar al máximo la estimación de la edad de un individuo^{9,11,16}.

Analizando en profundidad el proceso de osificación de cada uno de los huesos del pie, podemos comenzar afirmando que entre los huesos que forman el tarso sí que existen diferencias significativas entre lo publicado por diversos autores y nuestros resultados⁴. Con respecto al calcáneo, por ejemplo, diferimos en nuestros resultados en cuanto a fusión epifisaria a término, ya que nuestros resultados la establecen a partir de los 180 meses (unos 9 meses más tardía en niños que en niñas), frente a las edades más tempranas propuestas por los otros autores¹⁸. El astrágalo posee una maduración ósea más afín con lo establecido por la bibliografía clásica. No obstante, la fusión epifisaria completa en la literatura muestra edades de los 108 meses en niños, mientras que en la población extremeña es a los 156 meses con 108 meses y a los 167 meses para el sexo femenino y masculino respectivamente^{19,20}.

Tabla IV. Huesos de los dedos: comparación por sexos de los grados de maduración ósea.

PRUEBA DE CONTRASTE PARA LOS DEDOS					
Edad (meses)	Dedo	Hueso	Sexo	Media	Sig. (t Student)
61-72	2.º dedo	1.º Núcleo F. Distal	F	2.8	0.011
			M	2.3	
	3.º dedo	1.º Núcleo F. Media	F	2.8	0.011
			M	2.3	
	3.º dedo	1.º Núcleo F. Distal	F	2.8	0.011
			M	2.3	
	4.º dedo	1.º Núcleo F. Media	F	2.8	0.011
			M	2.3	
	4.º dedo	1.º Núcleo F. Distal	F	2.8	0.011
			M	2.3	
	5.º dedo	1.º Núcleo F. Media	F	3.1	0.039
			M	2.5	
5.º dedo	1.º Núcleo F. Distal	F	3.1	0.039	
		M	2.5		
85-96	5.º dedo	2.º Núcleo F. Media	F	3.5	0.040
			M	2.7	
	5.º dedo	Fusión F. Media	F	4.0	0.020
			M	2.6	
	5.º dedo	2.º Núcleo F. Distal	F	3.5	0.030
			M	2.6	
5.º dedo	Fusión F. Distal	F	4.2	0.016	
		M	2.6		
97-108	1.º dedo	2.º Núcleo F. Proximal	F	3.2	0.037
			M	2.9	
	1.º dedo	2.º Núcleo F. Distal	F	3.2	0.037
			M	2.9	
	1.º dedo	Fusión F. Distal	F	2.4	0.037
			M	2.2	
	2.º dedo	2.º Núcleo F. Proximal	F	3.2	0.037
			M	2.9	
	2.º dedo	2.º Núcleo F. Media	F	3.2	0.036
			M	2.9	
	2.º dedo	2.º Núcleo F. Distal	F	3.2	0.036
			M	2.9	
3.º dedo	2.º Núcleo F. Proximal	F	3.2	0.037	
		M	2.9		
3.º dedo	2.º Núcleo F. Media	F	3.2	0.037	
		M	2.9		
3.º dedo	2.º Núcleo F. Distal	F	3.2	0.037	
		M	2.9		
4.º dedo	2.º Núcleo F. Proximal	F	3.1	0.035	
		M	2.8		

Tabla IV (Cont.). Huesos de los dedos: comparación por sexos de los grados de maduración ósea.

PRUEBA DE CONTRASTE PARA LOS DEDOS					
Edad (meses)	Dedo	Hueso	Sexo	Media	Sig. (t Student)
109-120	1.º dedo	1.º Núcleo F. Proximal	F	3.4	0.050
			M	3.2	
	1.º dedo	1.º Núcleo F. Distal	F	3.4	0.050
			M	3.2	
	2.º dedo	1.º Núcleo F. Proximal	F	3.4	0.050
			M	3.2	
	2.º dedo	1.º Núcleo F. Media	F	3.4	0.050
			M	3.2	
	2.º dedo	1.º Núcleo F. Distal	F	3.4	0.050
			M	3.2	
	3.º dedo	1.º Núcleo F. Proximal	F	3.4	0.050
			M	3.2	
3.º dedo	1.º Núcleo F. Media	F	3.4	0.016	
		M	3.1		
3.º dedo	1.º Núcleo F. Distal	F	3.4	0.016	
		M	3.1		
4.º dedo	1.º Núcleo F. Proximal	F	3.4	0.016	
		M	3.1		
4.º dedo	1.º Núcleo F. Media	F	3.5	0.025	
		M	3.2		
4.º dedo	1.º Núcleo F. Distal	F	3.4	0.020	
		M	3.1		
5.º dedo	1.º Núcleo F. Proximal	F	3.4	0.009	
		M	3.1		
5.º dedo	1.º Núcleo F. Media	F	3.5	0.023	
		M	3.2		
5.º dedo	1.º Núcleo F. Distal	F	3.5	0.025	
		M	3.2		
133-144	1.º dedo	1.º Núcleo F. Proximal	F	4.0	0.044
			M	3.9	
	1.º dedo	1.º Núcleo F. Distal	F	4.0	0.044
			M	3.9	
	2.º dedo	1.º Núcleo F. Proximal	F	4.0	0.044
			M	3.9	
	2.º dedo	1.º Núcleo F. Media	F	4.0	0.044
			M	3.9	
	2.º dedo	1.º Núcleo F. Distal	F	4.0	0.044
			M	3.9	
	3.º dedo	1.º Núcleo F. Proximal	F	4.0	0.044
			M	3.9	
4.º dedo	1.º Núcleo F. Proximal	F	4.0	0.044	
		M	3.9		
5.º dedo	1.º Núcleo F. Proximal	F	4.0	0.044	
		M	3.9		

(Continúa en la página siguiente)

Tabla IV (Cont.). Huesos de los dedos: comparación por sexos de los grados de maduración ósea.

PRUEBA DE CONTRASTE PARA LOS DEDOS					
Edad (meses)	Dedo	Hueso	Sexo	Media	Sig. (t Student)
145-156	4.º dedo	Fusión F. Media	F	3.0	0.026
			M	2.4	
	Fusión F. Distal	F	3.0	0.031	
		M	2.5		
	5.º dedo	Fusión F. Distal	F	3.0	0.026
			M	2.4	
157-168	1.º dedo	2.º Núcleo F. Proximal	F	3.8	0.000
			M	3.3	
		Fusión F. Proximal	F	3.7	0.000
			M	2.7	
	2.º Núcleo F. Distal	F	3.8	0.000	
		M	3.3		
	Fusión F. Distal	F	3.7	0.000	
		M	2.7		
	2.º dedo	2.º Núcleo F. Proximal	F	3.8	0.000
			M	3.3	
		Fusión F. Proximal	F	3.8	0.000
			M	2.7	
2.º Núcleo F. Media	F	3.8	0.000		
	M	3.3			
Fusión F. Media	F	3.7	0.000		
	M	2.7			
2.º Núcleo F. Distal	F	3.8	0.000		
	M	3.3			
Fusión F. Distal	F	3.8	0.000		
	M	2.7			
157-168	3.º dedo	2.º Núcleo F. Proximal	F	3.8	0.000
			M	3.3	
		Fusión F. Proximal	F	3.7	0.000
			M	2.7	
	2.º Núcleo F. Media	F	3.8	0.000	
		M	3.3		
	Fusión F. Media	F	3.7	0.000	
		M	2.7		
	2.º Núcleo F. Distal	F	3.8	0.000	
		M	3.3		
	Fusión F. Distal	F	3.8	0.000	
		M	2.7		
4.º dedo	2.º Núcleo F. Proximal	F	3.8	0.000	
		M	3.3		
	Fusión F. Proximal	F	3.8	0.000	
		M	2.7		
2.º Núcleo F. Media	F	3.8	0.000		
	M	3.3			
Fusión F. Media	F	3.8	0.000		
	M	2.7			
2.º Núcleo F. Distal	F	3.8	0.000		
	M	3.3			
Fusión F. Distal	F	3.8	0.000		
	M	3.3			

Tabla IV (Cont.). Huesos de los dedos: comparación por sexos de los grados de maduración ósea.

PRUEBA DE CONTRASTE PARA LOS DEDOS					
Edad (meses)	Dedo	Hueso	Sexo	Media	Sig. (t Student)
157-168	5.º dedo	2.º Núcleo F. Proximal	F	3.8	0.000
			M	3.3	
		Fusión F. Proximal	F	3.8	0.000
			M	2.7	
	2.º Núcleo F. Media	F	3.8	0.000	
		M	3.3		
	Fusión F. Media	F	3.8	0.000	
		M	2.7		
	2.º Núcleo F. Distal	F	3.8	0.000	
		M	3.3		
	Fusión F. Distal	F	3.8	0.000	
		M	2.7		
169-180	1.º dedo	1.º Núcleo F. Proximal	F	4.0	0.044
			M	3.8	
		2.º Núcleo F. Proximal	F	3.9	0.015
			M	3.6	
	Fusión F. Proximal	F	4.6	0.000	
		M	3.5		
	1.º Núcleo F. Distal	F	4.0	0.044	
		M	3.8		
	2.º Núcleo F. Distal	F	3.9	0.015	
		M	3.6		
	Fusión F. Distal	F	4.6	0.000	
		M	3.6		
2.º Núcleo F. Proximal	F	3.9	0.016		
	M	3.7			
Fusión F. Proximal	F	4.5	0.000		
	M	3.5			
2.º Núcleo F. Media	F	3.9	0.016		
	M	3.7			
Fusión F. Media	F	4.5	0.000		
	M	3.5			
2.º Núcleo F. Distal	F	3.9	0.016		
	M	3.7			
Fusión F. Distal	F	4.5	0.000		
	M	3.5			
2.º Núcleo F. Proximal	F	3.9	0.016		
	M	3.7			
Fusión F. Proximal	F	4.5	0.000		
	M	3.5			
2.º Núcleo F. Media	F	3.9	0.016		
	M	3.7			
Fusión F. Media	F	4.5	0.000		
	M	3.5			
2.º Núcleo F. Distal	F	3.9	0.016		
	M	3.7			
Fusión F. Distal	F	4.5	0.000		
	M	3.5			

(Continúa en la página siguiente)

Tabla IV (Cont.). Huesos de los dedos: comparación por sexos de los grados de maduración ósea.

PRUEBA DE CONTRASTE PARA LOS DEDOS					
Edad (meses)	Dedo	Hueso	Sexo	Media	Sig. (t Student)
169-180	4.º dedo	2.º Núcleo F. Proximal	F	3.9	0.016
			M	3.7	
		Fusión F. Proximal	F	4.5	0.000
			M	3.5	
		2.º Núcleo Media	F	3.9	0.016
			M	3.7	
	Fusión F. Media	F	4.5	0.000	
		M	3.5		
	5.º dedo	2.º Núcleo F. Distal	F	3.9	0.016
			M	3.7	
		Fusión F. Distal	F	4.5	0.000
			M	3.5	
		2.º Núcleo F. Proximal	F	3.9	0.016
			M	3.7	
	Fusión F. Proximal	F	4.5	0.000	
		M	3.5		
	169-180	2º Núcleo F. Media	F	3.9	.016
			M	3.7	
Fusión F. Media		F	4.5	.000	
		M	3.5		
2º Núcleo F. Distal		F	3.9	.016	
		M	3.7		
Fusión F. Distal	F	4.5	.000		
	M	3.5			

F: femenino. M: masculino.

Por otro lado, cabe destacar la edad de maduración total del cuboides entre los 72 a 108 meses en niñas, frente a los 60 a 96 meses en niños, en comparación con los 96 meses de edad establecidos por Seucher sin diferenciación por sexos, hecho que también sucede con el escafoides^{4,21}.

Los valores obtenidos tras nuestro análisis en los metatarsianos no se diferencian mucho con las edades establecidas en la literatura científica. No obstante, cabe reseñar el comportamiento madurativo simultáneo entre los cinco metatarsianos, lo que difiere con algunos autores que afirman que el primer metatarsiano osifica independientemente del resto²². Algo similar ocurre con el estudio de los dedos. Algunos autores afirman la diferencia en el ritmo madurativo entre las falanges de los distintos dedos, así como entre ellas mismas^{4,18}, cuestión en la que discrepamos, ya que nuestros resultados muestran en líneas generales un ritmo madurativo uniforme en la totalidad en los dedos y entre falanges²³.

El método utilizado por Whitaker resultó interesante debido a la reducción casi por completo del sesgo inter e intra observador (muy frecuente en los métodos observacionales), además de contemplar la edad de los individuos de estudio en meses, lo que concreta los resul-

tados haciéndolos más exactos¹⁴. La única debilidad del método es que no contempla la totalidad de los huesos del pie para su estudio, por lo que decidimos aplicar este método, científicamente validado, a la totalidad de núcleos de osificación de los huesos del pie y tobillo (primarios, secundarios y fusiones entre ambos) con el fin de ampliar su estudio inicial proporcionando unos modelos predictivos de data para el esqueleto del pie y tobillo^{15,18}.

Nuestros resultados coinciden con lo establecido en la literatura clásica con respecto a la diferenciación de la maduración ósea por sexos, confirmándose que las fusiones epifisarias ocurren antes en el sexo femenino que en el masculino. Además, afirmamos que no solo se da esta situación en las fusiones óseas si no también en la aparición de la mayoría de los núcleos, tanto primarios como secundarios, de acuerdo con lo establecido por Seucher⁴.

Tampoco el ritmo de maduración es el mismo para ambos sexos. Esta cuestión ya era mencionada por Robledo sin especificar exactamente cuál de los dos sexos evolucionaba más deprisa o despacio. Tras nuestros resultados, estamos en condiciones de afirmar que el ritmo de maduración es más lento en niños que en niñas⁶.

En función de los resultados obtenidos, y en relación el objetivo planteado en esta investigación, se llega a la conclusión que, con respecto a la variabilidad del curso normal del proceso de osificación entre sexos, afirmamos que existen diferencias que implican una maduración ósea más lenta para el sexo masculino con respecto al femenino, y respecto a la osificación de los huesos del pie, la población extremeña tiene una osificación total más tardía que la descrita en la literatura^{14-17,22}.

Consideraciones éticas del estudio

Al no tratarse de un estudio relacionado con la salud humana que implique procedimientos invasivos o de intervención directa con pacientes, no fue necesaria la aprobación por ningún Comité Ético de Experimentación o Bioética de acuerdo con lo establecido en el Artículo 1 de la Ley 14/2007, del 3 de julio, de Investigación Biomédica.

Los investigadores y profesionales sanitarios relacionados con este estudio se comprometieron a velar por el cumplimiento de la Ley Orgánica 15/1999, del 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal, y del Real Decreto 1720/2007, de 21 de diciembre, por el que se aprueba el reglamento de desarrollo de la LOPD.

Los datos clínicos que se manejan en esta investigación han sido tratados con la máxima confidencialidad y custodia de la información de acuerdo con lo establecido en la Ley 41/2002, del 14 de noviembre, Básica Reguladora de la Autonomía del paciente.

Conflicto de intereses

No hay conflicto de intereses por parte de los autores.

Financiación

Ninguna.

Bibliografía

- Garamendi PM, Landa MI, Ballesteros J, Solano MA. Reliability of the methods applied to assess age minority in living subjects around 18 years old. A survey on a Moroccan origin population. *Forensic Sci Int*. 2005;154(1):3-12. DOI: 10.1016/j.forsciint.2004.08.018.
- Gisbert Calabuig JA. *Medicina Legal y Toxicología*. Barcelona: Masson S.A.; 2004.
- Krogman WM, Isçan MY. *The Human skeleton in Forensic Medicine*. Springfield: Charles C Thomas; 1986.

4. Scheuer L, Black SM. The Juvenile Skeleton. San Diego: Elsevier Academic Press; 2004.
5. Robledo-Acinas MM. Determinación de la edad ósea en adolescentes. Estudio radiológico del pie y análisis de imagen en el grupo de 17 a 19 años [Tesis Doctoral]. Departamento de Toxicología y Legislación sanitaria. Madrid; Universidad Complutense de Madrid; 2008.
6. Tanner JH, Whitehouse RM. Standard skeletal maturity. Part I. París: International Children's Center; 1959.
7. Reverte JM. Antropología Forense. Madrid: Ministerio de Justicia; Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones; 1990.
8. Scheuer L, Black SM. Developmental Juvenile Osteology. San Diego, CA: Academic Press; 2000.
9. Argemí J, López-Cuevas I. Nuevo método para el estudio de la maduración ósea por ordenador. *An Esp Pediatr.* 1987;27(30):85-8.
10. Ebritor B, Altarriba J. Presentación de un nuevo método biométrico (TVO) para la valoración de la edad ósea en niños. *Med Kin.* 1979;214:50-6.
11. Greulich WW, Pyle SL. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. California: Stanford University Press; 1959. DOI: 10.1097/00000441-195909000-00030.
12. Tanner JM, Whitehouse RM. Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2). London: London Academic Press; 1993.
13. Hernandez C, Sánchez E, Sobradillo B, Rincón JM, Narvaiza JL. A new method for assessment of skeletal maturity in the first 2 years of life. *Pediatr Radiol.* 1988;18:484-9. DOI: 10.1007/BF00974086.
14. Whitaker JM, Rousseau L, Williams T, Rowan RA, Hartwig WC. Scoring system for estimating age in the foot skeleton. *Am J Phys Anthropol.* 2002;118(4):385-92. DOI: 10.1002/ajpa.10109.
15. Crowder C, Austin D. Age ranges of epiphyseal fusion in the distal tibia and fibula of contemporary males and females. *J Forensic Sci.* 2005;50(5):1001-7. DOI: 10.1520/JFS2004542.
16. Argimon Pallés JM, Jiménez Villa J. Métodos de investigación clínica y epidemiológica. 4.ª ed. Madrid: Elsevier; 2013.
17. Krogman WM, Isçan MY. The Human eskeleton in Forensic Medicine. Springfield: Charles C. Thomas; 1986.
18. Hoerr NL, Pyle SL, Francis CC. Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Foot and Ankle. A Standard of Reference. Springfield: C.C. Thomas; 1962.
19. O'Rahilly R, Gardner E. The skeletal development of the foot. *Clinical Orthopaedics and Related Research.* 1960;16:7-14.
20. Tachdjian MO. The Child's Foot. Philadelphia: W.B. Saunders Company; 1985.
21. Wakely CJ, Johnson DP, Watt I. The value of MR imaging in the diagnosis of the os trigonum syndrome. *Skeletal Radiology.* 1996;25(2):133-6. DOI: 10.1007/s002560050049.
22. Franch M, Infante MM. Cronología de osificación del pie. *Radiogonometría. El Peu.* 2004;24(3):148-58.
23. Birkner R. Normal Radiographic Patterns and Variances of the Human Skeleton-An X Ray Atlas of Adults and Children. Baltimore (Munich): Urban and Schwanzemberg; 1978.