

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DE LA ANATOMÍA ESTÁTICA DEL PRIMER Y SEGUNDO RADIO DEL PIE MEDIANTE LA TOMODENSITOMETRÍA*

JOSÉ FRANCISCO SOROLLA BECERRIL

Resumen

Se ha realizado un estudio del pie vivo normal en carga y en evolución, describiéndose los conceptos de metatarsiano y radio funcional; se han realizado nuevas mediciones de los ángulos de ataque al suelo y se han expuesto en tablas, permitiendo comparar la evolución angular con la edad. Todo esto se ha descrito y realizado a partir de cortes tomodensitométricos inéditos del pie vivo.

INTRODUCCIÓN

Todos los seres humanos disponemos de dos miembros inferiores que se han especializado en la deambulación; su porción más distal, el pie, es el que ha alcanzado más altas cotas en la especialización para la marcha.

Sin embargo, no todos los pies son iguales, como la evolución nos haría sospechar. Ha habido diversos factores que han influido de forma diferente en los grupos humanos, factores como el medio

ambiente, la civilización, los requerimientos físicos, la actividad humana, el calzado, han hecho que los pies de los grupos humanos se diferencien; vemos también que dentro de un mismo grupo en el que han incidido los mismos o parecidos factores, no todos los pies son iguales y además vemos pies que aun siendo idénticos en su forma y estructura, unos clínicamente duelen y otros no.

Numerosos autores han venido estudiando el pie, tanto en situación estática como dinámica, en su estructura anatómica y funcional, y numerosos los medios técnicos utilizados para realizar estos estudios y como resultado numerosas han sido las teorías expuestas para explicar su evolución anatómica, su estructura, el sistema de transmisión de fuerzas, etc.

Este trabajo intenta aportar nuevos datos en el estudio de la anatomía estática del pie vivo y para ello hemos utilizado el medio técnico más actual de que disponemos.

Resumen de Tesis Doctoral. Director: Prof. L. Jiménez González. Facultad de Medicina de la Universidad de Zaragoza.

ESTADO ACTUAL DEL TEMA

Anatómicamente la morfología del pie, su estructura, ha sido comparada a diferentes formas como un trípode, una hélice, un tejado, un puente, etc. Quizá la comparación más admitida haya sido a una bóveda arquitectónica, propuesta ya en el siglo pasado y revisada en la actualidad por KAPANDJI (1). Esta bóveda estaría integrada por unos arcos longitudinales y unos arcos transversales. Este trabajo ha sido centrado en los dos primeros arcos longitudinales, arcos que partiendo del calcáneo se continúan con el astrágalo, escafoides, primera y segunda cuña y primer y segundo metatarsianos.

La disposición espacial de los elementos que integran estos radios ha sido estudiada por diversos autores. Para GIANNETRAS (2) los tejidos blandos no sostienen al pie, simplemente ayudan a los componentes óseos. Para VILADOT (3) las tres formaciones que integran la bóveda tienen su acción pero en una proporción diferente, manifestando que los simples componentes óseos si estuvieran sujetos a la pinza maleolar, serían capaces, por sí solos con la ayuda ligamentaria de mantenerse y que los músculos (basándose en EMG) sólo actuarían con el pie en situación de actividad.

Para LELIEVRE (4) la estabilidad de la bóveda plantar está asegurada por medios potentes y recalca la importancia de los medios fibrosos como el gran ligamento plantar para el mantenimiento de la bóveda. Para BASMAJIAN (5), que trabaja con EMG, la musculatura entra en acción cuando el peso soportado supera los 200 kilogramos.

Otro punto importante es la existencia o no del llamado arco transversal anterior del pie. Todos los autores clásicos manifestaban que los apoyos anteriores del pie se localizaban en la cabeza del primero y quinto radios y entre ambos en disposición transversal se hallaría el arco transversal anterior del pie. Para LELIEVRE (6) el arco anterior tendría dos apoyos inmediatos, el primero y el quinto, y tres

apoyos mediatos que aparecerían con la carga, el segundo, tercero y cuarto. HOHMANN, MOMBURG, BEELEY citan el apoyo en las cabezas centrales. MORTON (7) manifiesta que apoyan todos, pero en una determinada proporción. Para PISANI (8) son los cuartos radios los que más carga soportan. RAMOS CRISTÓBAL (9) mediante estudios tomodensitométricos afirma que apoyan las cabezas del primero, cuarto y quinto.

Por otra parte la revisión de trabajos radiográficos dedicados al tema nos ha demostrado una amplia relación de los mismos, siendo por el contrario escasos los estudios tomodensitométricos en el pie, estando basados todos ellos en cortes transversales ya descritos por LEDLEY y CARTER (10) en el año 1977. No se ha encontrado ningún trabajo basado en cortes axiales del pie.

Hemos utilizado la radiopodometría aplicada a la tomodensitometría, basándonos en las ideas sobre los ángulos de ataque de los metatarsianos expuestas por SCHNEPP (11) en el año 1979, lo que nos ha permitido medir lo que hemos denominado *metatarsiano funcional, radio funcional, y los ángulos de incidencia al suelo del radio y del metatarsiano funcional*. No hemos encontrado este tipo de medidas realizadas en series cronológicas de pies en evolución en la literatura.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se comenzó con la realización de una podografía en tinta a más de 600 niños de ambos sexos, raza blanca y edades comprendidas entre los 2 y 13 años, pertenecientes al alumnado de un Centro Docente de Zaragoza. De ellos seleccionamos 96, formando un grupo de cada edad con huella podográfica normal. La distribución por grupos de edades y sexos viene reflejada en la figura 1.

A estos casos seleccionados se les realizó una tomografía axial computerizada, efectuando dos cortes en cada pie, uno sobre el eje longitudinal del segundo radio

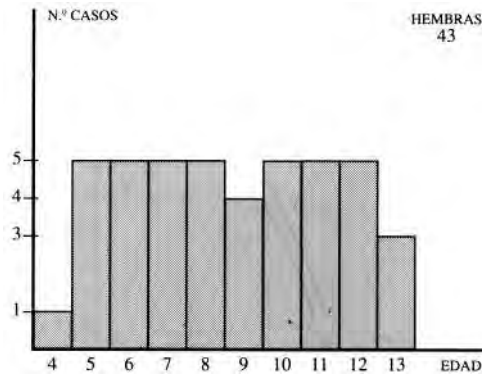
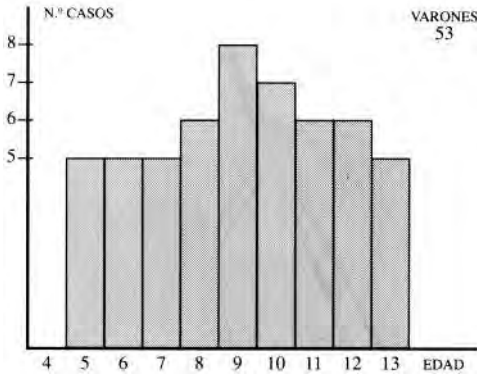


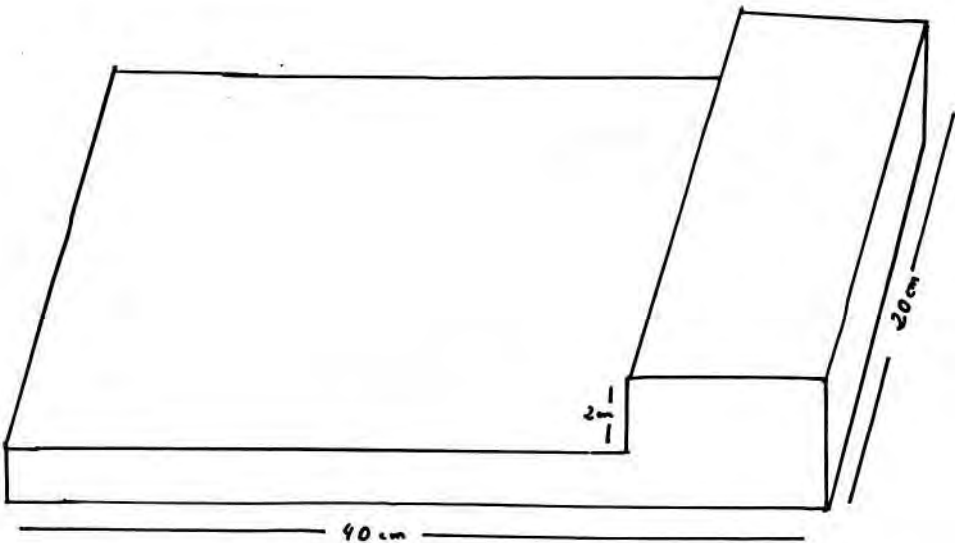
Figura 1

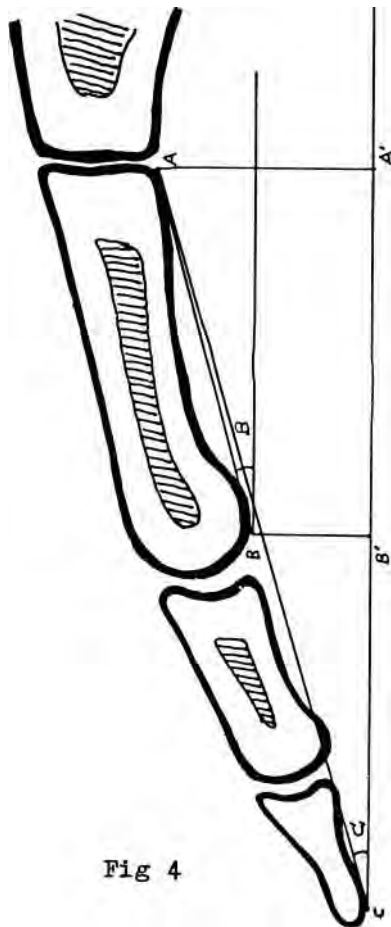
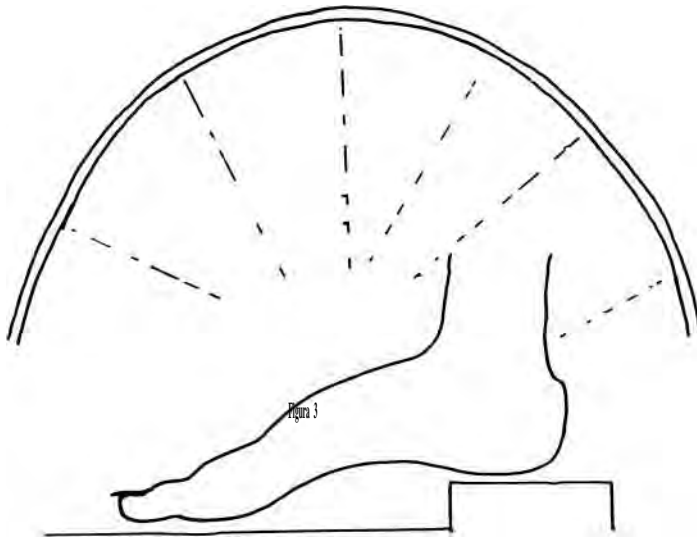
(2R) y otro sobre el primer radio (1R), longitudinal también pero incluyendo el sesamoideo tibial.

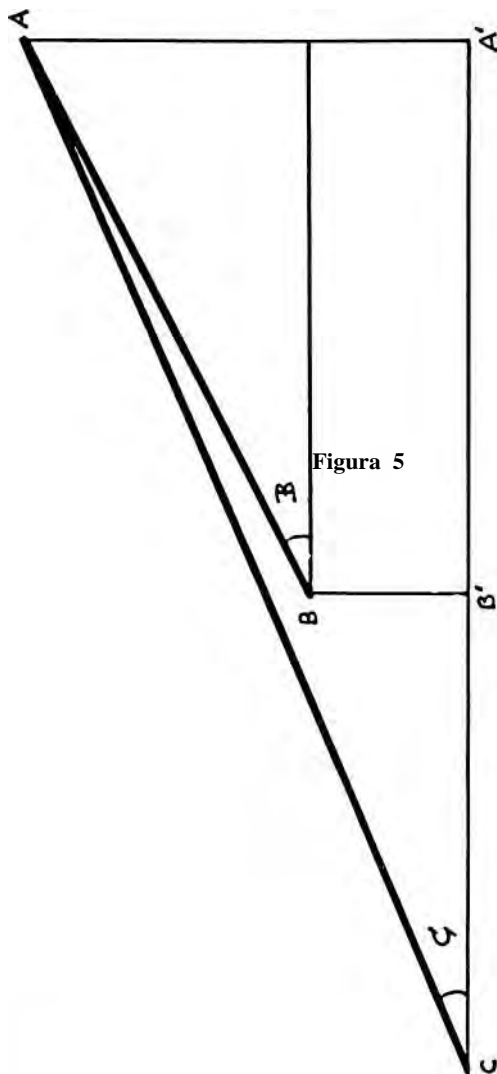
Estos cortes se realizaron con el sujeto en situación bipodal, con el pie apoyado en una tabla fabricada por nosotros y recubierta de escayola (fig. 2). Esta tabla posee un alza posterior de 2 cm. con el fin de elevar el talón y colocar el pie en una situación similar a cuando se encuentra calzado. Los cortes se efectuaron con un grosor de 7 mm (fig. 3).

Las imágenes tomográficas así obtenidas se fotografiaron y se archivaron en discos magnéticos. El siguiente paso con-

siste en la realización impresa de la tomografía a partir de las imágenes obtenidas. Se ha conseguido una resolución en papel de 1,3 mm por dato de una zona del radio que comprende para el 1R desde el extremo distal de la segunda falange hasta la mitad de la primera cuña y para el 2R desde el extremo distal de la última falange hasta la mitad de la segunda cuña. El siguiente paso consiste en obtener la alzada del radio y esto lo hacemos localizando las zonas de densidad ósea que para este aparato corresponden a densidades iguales o superiores a 100 unidades Hounsfield.







MENSURACIÓN

De estas alzadas vamos a localizar unos puntos (fig. 4), que corresponden el A al más bajo y proximal del metatarsiano; el B al más bajo y distal del metatarsiano, y el C al más bajo y distal del radio.

Estos puntos y sus proyecciones a una línea horizontal trazada por el punto más bajo del radio (fig. 5), nos permiten reducir la alzada a un sistema de dos triángulos rectángulos de los que vamos a calcular las medidas: *AB* que corresponde al metatarsiano funcional; *AC* que corresponde al radio funcional, y los ángulos *B* de incidencia del metatarsiano y *C* de in-

cidencia del radio, mediante fórmulas matemáticas y trigonométricas.

Los datos obtenidos por grupo de edad se agruparon en tablas y a estos datos se les aplicó las leyes estadísticas para comparar un grupo con otro y ver si existían diferencias significativas, y para estudiar la evolución angular se aplicaron para ello cuatro parámetros estadísticos media aritmética, varianza, desviación típica y coeficiente de variación.

Los valores angulares así estudiados se agruparon por ángulos en cuatro tablas (figs. 6, 7, 8, 9), y se llevaron a gráficas (figuras 10, 11, 12, 13).

PRIMER RADIO. ÁNGULO B

Pie derecho	Pie izquierdo
5 años $x = 32,34^{\circ}$	5 años $x = 31,98^{\circ}$
$\sigma = 4,50$	$\sigma = 2,48$
$\sigma^2 = 20,26$	$\sigma^2 = 6,17$
Cv = 0,14	Cv = 0,08
6 años $x = 31,01^{\circ}$	6 años $x = 29,52^{\circ}$
$\sigma = 5,28$	$\sigma = 4,39$
$\sigma^2 = 0,17$	$\sigma^2 = 0,15$
Cv = 27,94	Cv = 19,33
7 años $x = 30,02^{\circ}$	7 años $x = 32,03^{\circ}$
$\sigma = 3,05$	$\sigma = 3,90$
$\sigma^2 = 9,31$	$\sigma^2 = 15,19$
Cv = 0,10	Cv = 0,12
8 años $x = 27,86$	8 años $x = 29,65$
$\sigma = 2,40$	$\sigma = 3,90$
$\sigma^2 = 5,77$	$\sigma^2 = 15,25$
Cv = 0,09	Cv = 0,13
9 años $x = 27,17$	9 años $x = 28,07$
$\sigma = 5,07$	$\sigma = 4,64$
$\sigma^2 = 25,66$	$\sigma^2 = 21,55$
Cv = 0,19	Cv = 0,17
10 años $x = 28,69$	10 años $x = 30,45$
$\sigma = 4,32$	$\sigma = 4,02$
$\sigma^2 = 18,65$	$\sigma^2 = 16,20$
Cv = 0,15	Cv = 0,13
11 años $x = 31,29$	11 años $x = 31,95$
$\sigma = 3,37$	$\sigma = 3,07$
$\sigma^2 = 11,38$	$\sigma^2 = 9,42$
Cv = 0,11	Cv = 0,10
12 años $x = 28,67$	12 años $x = 31,19$
$\sigma = 3,97$	$\sigma = 3,49$
$\sigma^2 = 15,76$	$\sigma^2 = 12,20$
Cv = 0,14	Cv = 0,11
13 años $x = 31,01$	13 años $x = 31,69$
$\sigma = 5,04$	$\sigma = 3,93$
$\sigma^2 = 25,42$	$\sigma^2 = 15,50$
Cv = 0,16	Cv = 0,12

PRIMER RADIO. ÁNGULO C

Pie derecho	Pie izquierdo
5 años x - 21,14	5 años x - 20,46
σ - 2,93	σ - 2,52
σ ² - 8,57	σ ² - 6,37
Cv - 0,14	Cv - 0,12
6 años x - 18,84	6 años x - 19,90
σ - 3,49	σ - 3,74
σ ² - 12,16	σ ² - 13,95
Cv - 0,19	Cv - 0,19
7 años x - 18,13	7 años x - 18,61
σ - 2,17	σ - 2,68
σ ² - 4,70	σ ² - 7,20
Cv - 0,12	Cv - 0,14
8 años x - 17,67	8 años x - 17,96
σ - 2,04	σ - 2,46
σ ² - 4,17	σ ² - 6,03
Cv - 0,12	Cv - 0,14
9 años x - 16,07	9 años x - 17,49
σ - 2,70	σ - 3,39
σ ² - 7,31	σ ² - 11,49
Cv - 0,17	Cv - 0,19
10 años x - 17,00	10 años x - 17,64
σ - 2,10	σ - 2,22
σ ² - 4,40	σ ² - 4,94
Cv - 0,12	Cv - 0,13
11 años x - 19,22	11 años x - 19,04
σ - 1,80	σ - 1,88
σ ² - 3,23	σ ² - 3,54
Cv - 0,09	Cv - 0,10
12 años x - 17,00	12 años x - 18,27
σ - 2,15	σ - 2,18
σ ² - 4,64	σ ² - 4,74
Cv - 0,13	Cv - 0,12
13 años x - 18,18	13 años x - 18,40
σ - 4,18	σ - 2,16
σ ² - 17,46	σ ² - 4,65
Cv - 0,23	Cv - 0,12

SEGUNDO RADIO. ÁNGULO B

Pie derecho	Pie izquierdo
5 años $x = 31,15$	5 años $x = 31,10$
$\sigma = 4,30$	$\sigma = 2,66$
$\sigma^2 = 18,45$	$\sigma^2 = 7,07$
$Cv = 0,14$	$Cv = 0,09$
6 años $x = 29,33$	6 años $x = 29,48$
$\sigma = 5,01$	$\sigma = 4,86$
$\sigma^2 = 25,06$	$\sigma^2 = 23,66$
$Cv = 0,17$	$Cv = 0,16$
7 años $x = 26,86$	7 años $x = 29,13$
$\sigma = 3,15$	$\sigma = 3,42$
$\sigma^2 = 9,95$	$\sigma^2 = 11,71$
$Cv = 0,12$	$Cv = 0,12$
8 años $x = 26,80$	8 años $x = 26,89$
$\sigma = 2,36$	$\sigma = 3,28$
$\sigma^2 = 5,55$	$\sigma^2 = 10,76$
$Cv = 0,09$	$Cv = 0,12$
9 años $x = 25,18$	9 años $x = 25,06$
$\sigma = 3,30$	$\sigma = 3,26$
$\sigma^2 = 10,89$	$\sigma^2 = 10,60$
$Cv = 0,13$	$Cv = 0,13$
10 años $x = 25,95$	10 años $x = 27,26$
$\sigma = 4,52$	$\sigma = 3,31$
$\sigma^2 = 20,44$	$\sigma^2 = 10,94$
$Cv = 0,17$	$Cv = 0,12$
11 años $x = 28,16$	11 años $x = 27,33$
$\sigma = 2,65$	$\sigma = 2,87$
$\sigma^2 = 7,00$	$\sigma^2 = 8,25$
$Cv = 0,09$	$Cv = 0,11$
12 años $x = 27,51$	12 años $x = 28,21$
$\sigma = 2,27$	$\sigma = 3,43$
$\sigma^2 = 5,17$	$\sigma^2 = 11,79$
$Cv = 0,08$	$Cv = 0,12$
13 años $x = 27,29$	13 años $x = 29,48$
$\sigma = 3,43$	$\sigma = 2,27$
$\sigma^2 = 11,80$	$\sigma^2 = 5,15$
$Cv = 0,13$	$Cv = 0,08$

SEGUNDO RADIO. ÁNGULO C

Pie derecho

5 años	x	=	19,66
	σ	=	2,50
	σ^2	=	6,27
	Cv	=	0,12
6 años	x	=	19,99
	σ	=	3,92
	σ^2	=	15,36
	Cv	=	0,20
7 años	x	=	17,79
	σ	=	1,42
	σ^2	=	2,03
	Cv	=	0,08
8 años	x	=	17,50
	σ	=	2,02
	σ^2	=	4,08
	Cv	=	0,12
9 años	x	=	17,39
	σ	=	3,31
	σ^2	=	10,97
	Cv	=	0,19
10 años	x	=	16,61
	σ	=	2,71
	σ^2	=	7,39
	Cv	=	0,16
11 años	x	=	17,68
	σ	=	1,56
	σ^2	=	2,44
	Cv	=	0,09
12 años	x	=	17,53
	σ	=	1,56
	σ^2	=	2,43
	Cv	=	0,09
13 años	x	=	17,38
	σ	=	2,02
	σ^2	=	4,10
	Cv	=	0,12

Pie izquierdo

5 años	x	=	21,17
	σ	=	2,56
	σ^2	=	6,57
	Cv	=	0,11
6 años	x	=	21,27
	σ	=	3,17
	σ^2	=	10,06
	Cv	=	0,15
7 años	x	=	20,02
	σ	=	2,39
	σ^2	=	5,73
	Cv	=	0,12
8 años	x	=	19,00
	σ	=	1,94
	σ^2	=	3,79
	Cv	=	0,10
9 años	x	=	17,88
	σ	=	2,40
	σ^2	=	5,75
	Cv	=	0,13
10 años	x	=	18,08
	σ	=	1,85
	σ^2	=	3,42
	Cv	=	0,10
11 años	x	=	17,79
	σ	=	0,99
	σ^2	=	0,97
	Cv	=	0,06
12 años	x	=	18,22
	σ	=	2,07
	σ^2	=	4,27
	Cv	=	0,11
13 años	x	=	18,85
	σ	=	1,72
	σ^2	=	2,96
	Cv	=	0,09

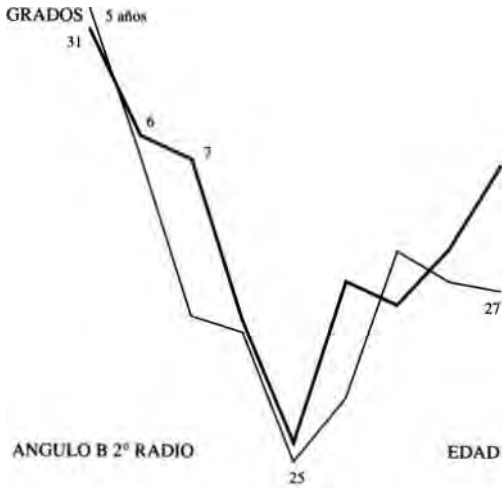


Figura 10

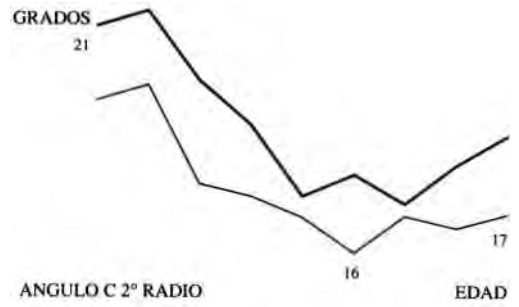


Figura 11

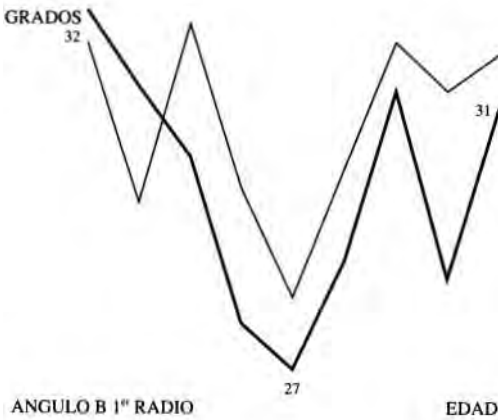


Figura 12

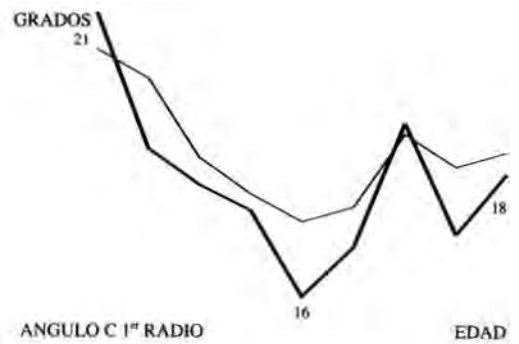


Figura 13

RESULTADOS

En la estadística se objetiva una similar evolución de los valores angulares con la edad, con un pico inferior que corresponde a los 9 años; este pico sucede a la vez que el hecho anatómico de la aparición radiográfica del sesamoideo, pudiendo decir que la aparición del sesamoideo tibial frena la disminución angular que hasta entonces venía sucediendo y ele-

vándolo lo coloca en unos valores similares a los que mantendrá de adulto con pequeñas variaciones. La estabilización del valor angular sucede a los 11 años, edad en la que todos los pies de nuestros grupos tienen ya radiográficamente sesamoideo.

La aparición radiográfica de los sesamoideos nos ha coincidido con la expues-

ta por GIANNISTRAS y por EBRI (12), comenzando a aparecer a los 8 años y estando presentes en la totalidad de los pies a los 11 años.

No hemos encontrado una relación entre los ángulos B y C de un mismo radio, ni entre ángulos de diferente radio, por lo que creemos no existe relación entre los ángulos del 1R con los del 2R. Al menos estadísticamente no la hemos hallado.

La estadística, asimismo, nos ha permitido hacer unos grupos de edades cuyos valores angulares no presentan diferencias significativas y que son (2, 3, 4) (5, 6) (7, 8) (9, 10) (11, 12, 13).

Hemos podido determinar los puntos más bajos del radio y sus correspondientes zonas de apoyo. Nos hemos basado en el efecto de sumación de partes blandas en las zonas de carga. Y podemos decir que los puntos más bajos para el 1R corresponden a la base de la falange distal hasta la aparición del sesamoideo, en que se sitúa éste a un nivel similar al de la falange distal. Para el 2R el punto más bajo se sitúa en la cabeza de la falange distal.

Los puntos de apoyo vienen a corresponder para el 1R unos proximal en la articulación metatarsofalángica, y otro distal en la articulación interfalángica. Para el 2R un apoyo proximal en la articulación metatarsofalángica y otro distal en la cabeza de la falange distal.

La aparición del sesamoideo retrasa el apoyo metatarsofalángico en el 1R. Esta zona de apoyo es la más amplia, lo que nos permite suponer que es la que más carga soporta, siendo la zona metatarsofalángica del 2R de menor intensidad; esto nos hace integrarnos en el grupo de autores que sostienen que todos los radios soportan carga y en contra de los que afirman son los radios centrales los que más carga soportan.

En cuanto al arco transversal anterior del pie, nuestro trabajo parece corroborar su existencia al haber objetivado en todos los cortes efectuados la cabeza del 2metatarsiano más elevada que la cabeza del 1metatarsiano, como ya describiera RAMOS en su trabajo con cortes transversales del pie.

BIBLIOGRAFÍA

1. KAPANDJI, I. A. (1980): *Cuadernos de Fisiología Articular*. Tomo 2. Barcelona. Toray-Masson.
2. GIANNISTRAS, N. J. (1979): *Trastornos del pie*. Salvat, págs. 15-18.
3. VILADOT, A. (1979): *Diez lecciones sobre patología del pie*. Barcelona. Toray, pág. 11.
- 4 y 6. LELIEVRE, J. (1979): *Patologie du Pied*. París. Masson, págs. 36-41.
5. BASMAJIAN, J. V., y STECKO, G. (1963): The Role of Muscles in Arch. Support of the Foot. An Electromyographic study. *J. Bone Jt. Surgery*. 45 A. 1184.
7. MORTON, D. (1948): *The Human Foot*. New York. Columbia University Press.
8. PISANI, G. (1975): Biodinámica dell'avampiede. *Min. Ort.* 26. 590-598.
9. RAMOS CRISTÓBAL, J. A. (1977): El arco transversal del pie. *La técnica Ortopédica*. 77. Sept.
10. LEDLEY, R. S.; HUANG, H. K.; MAZZIOTTA, J. C. (1997): *Cross Sectional Anatomy an Atlas for computerized tomography*. Baltimore. Williams & Williams.
11. SCHNEPP, J. (1979): Le pied creux essentiel. Rappel anatomoclinique. Methodes et indications Therapeutiques. *Cahiers d'Enseignement SOFCOT* 10. 73-92.
12. EBRI, B. (1976): Contribución al conocimiento de la madurez ósea del tarso. Tesis Doctoral. Facultad de Medicina. Zaragoza.