

# MORFOGÉNESIS DEL PIE

A. J. PUERTA FONOLLA

*Con la colaboración de:*

F. J. FERNÁNDEZ CAMACHO

J. PÉREZ DE MIGUELSANZ

C. MARTÍNEZ ALVAREZ.

F. VIEJO TIRADO.

*Departamento de Ciencias  
Morfológicas.  
Facultad de medicina.  
Universidad Complutense (Madrid).*

## **Resumen**

*Se realiza una minuciosa descripción de la aparición y crecimiento del pie, durante los diversos estadios cronológicos tanto del desarrollo embrionario como del fetal.*

*Posteriormente se pasa revista al desarrollo de los distintos elementos óseos del pie durante el periodo prenatal, prestando atención a la morfología, aparición de los puntos de osificación y disposición de las carillas articulares.*

*Finalmente se relaciona la disposición espacial del pie, durante el periodo prenatal, con la de los restantes elementos del miembro inferior, y se analizan las posibles implicaciones para la estática y la marcha del niño.*

El primer esbozo de la extremidad inferior aparece en el estadio 13 (4-6 mm, 28 días postfecundación, 30-34 somitos) como un engrosamiento del ectodermo situado entre los somitos 30-33, este engrosamiento se continúa insensiblemente con el engrosamiento ectodérmico

de la membrana cloacal. En el estadio 14 (5-7 mm, 32 días) el esbozo del miembro hace un relieve neto sobre la superficie del cuerpo embrionario adoptando una forma de aleta con una parte ventromedial plana y una dorso lateral redondeada. En el estadio 15 (7-9 mm, 33 días) el esbozo ha crecido más, y mientras que en el miembro superior, que tiene forma de paleta, se puede distinguir cómo el segmento proximal a la paleta va a constituir el esbozo del hombro y la paleta el de la mano, en el miembro inferior esta disposición es menos evidente, siendo por el contrario muy manifiesta la cresta apical de Saunders.

Es a partir del estadio 16 (8-11 mm, 36 días) cuando la morfología del esbozo inferior adquiere un aspecto de paleta, correspondiendo ésta a la paleta o placa pedia, siendo por tanto este estadio donde aparece la primera individualización del futuro pie; en la parte proximal se pueden observar las condensaciones blastemáticas del esqueleto de la cintura pelviana. En estos momentos el miembro inferior está contenido en plano transver-

sal más o menos perpendicular al plano de la extremidad inferior del tronco, la superficie ventral de la paleta pedia, futura superficie plantar, empieza a orientarse hacia el polo cefálico del embrión.

En el estadio 17 (11-14 mm, 41 días) se identifican en el miembro superior los radios digitales, mientras que en el inferior la paleta es más grande y redondeada, apareciendo un esbozo de las radiaciones digitales; los esbozos mesenquimatosos del fémur, tibia, peroné y los del tarso y metatarso están definidos. Las masas pre-musculares empiezan a identificarse. Comienza a producirse una delimitación entre la pierna y el pie. La futura cara plantar está dispuesta en un plano horizontal y está orientada en dirección craneal, para ello ha tenido que realizarse una rotación interna de tal forma que la futura región posterior del miembro inferior, cara flexora está incluida en un plano oblicuo que está orientado ventromedial, formando un ángulo agudo de apertura craneal con el plano medio sagital del tronco, en esta rotación participa todo el miembro inferior, pero muy especialmente en el nivel de la pierna.

En el estadio 18 (13-17 mm, 44 días) se produce un alargamiento de los esbozos de los miembros y se hacen visibles los radios digitales de la placa pedia, pero no se delimitan los surcos interdigitales; la condricificación empieza a observarse en todos los esbozos mesenquimatosos de los huesos del miembro, excepto en los de los dedos que están en fase mesenquimatosos. Durante este periodo continúa la rotación interna que es realizada fundamentalmente por el segmento pierna pie; en estos momentos la futura cara plantar está orientada casi en un plano parasagital, mirando por tanto al plano sagital del tronco con el que está formando un ángulo de vértice ventral y apertura proximal; el futuro dorso del pie está por tanto situado lateral y externo. Desde el inicio del esbozo del pie, en el estadio 16 hasta el 18, sólo 7 días, se ha producido una rotación interna de casi 90° en el miembro inferior, pero esta rotación no

es igual en toda la extremidad sino que los casi 90° se hacen en el pie, algo menos unos 70° a nivel de la articulación de la rodilla y mucho menos (10°) en la articulación de la cadera. Dispuesta así la extremidad inferior, el eje axial de la misma sólo afecta a pie y pierna, ya que el muslo está poco definido y forma un ángulo recto con la pierna, y obtuso con el tronco; el borde preaxial o futuro borde tibial está por tanto dispuesto cranealmente y el peroneo o postaxial es caudal.

Al final del estadio 18 y sobre todo en el inicio del 19, las elevaciones digitales son visibles al haberse marcado los surcos interdigitales. En el estadio 19 (16-18 mm, 48 días) los puntos de condricificación están presentes en el ilión, isquión y pubis así como en la cabeza del fémur; en este estadio aparece por primera vez la condensación mesenquimatosos de la rótula. Al final de este estadio se marcan los surcos interdigitales y quedan delimitadas las membranas interdigitales, y la delimitación entre pierna y pie queda más acentuada, la condricificación afecta al metatarso.

Durante el estadio 20 (18-22 mm, 51 días) la placa pedia ya está totalmente delimitada, los dedos aparecen definidos sobre todo los dos primeros, y son divergentes desde la futura zona del tobillo a la convexidad de la placa; de todos los esbozos de los dedos el más largo es el que corresponde al 3, en este estadio la fórmula digital sería  $3 > 2 > 1 > 4 > 5$ , si bien el orden entre 1 y 4 puede estar invertido y a veces el 2 puede ser el más largo. En este estadio aparecen las 4 almohadillas plantares distales siendo muy evidentes a nivel de los espacios interdigitales; el almohadillado tibial y fibular empieza a marcarse y no existe en la región proximal y central del pie. Empieza la condricificación de la falange proximal de los dedos y la tuberosidad del calcáneo, en fase mesenquimatosos, se hace visible. A nivel de la rodilla se pueden individualizar los ligamentos laterales y los cruzados. Empiezan a esbozarse las fases interzonas en las articulaciones más proximales, cade-

ra, rodilla y tobillo. La disposición espacial del miembro es similar al del estadio anterior. La parte distal de tibia y peroné ha terminado de completar su esbozo mesenquimatoso.

El estadio 21 (22-24 mm, 52 días) marca pocas diferencias con el anterior; quizá se observe un mayor crecimiento de los dedos del borde preaxial del pie, siendo en este estadio mucho más frecuente la fórmula digital  $2 > 3 > 1 > 4 > 5$ . Durante esta fase se desarrollan las espinas ilíacas anterosuperior y la ciática; la tuberosidad isquiática empieza a esbozarse. La condricificación aparece en la rótula y las segundas falanges e incluso la parte más proximal de las distales. Las articulaciones del miembro inferior se hallan todas en la fase inicial de interzonas; siendo las más evidentes aquellas que corresponden a la zona metatarsalángica.

En el estadio 22 (23-35 mm, 54 días) los esbozos de los pies están colocados casi totalmente en un plano sagital, mirándose entre sí las futuras caras plantares que están orientadas hacia la línea media. En conjunto toda la extremidad inferior está en una marcada rotación externa de la cadera; ello conlleva que la superficie extensora (topográficamente anterior en la pierna y dorsal en el pie) esté dispuesta externamente, mientras que la flexora sea medial. Los dedos aparecen delimitados en extensión y separados. Entre las superficies del pie y de la pierna, que están bien delimitadas, no existe ninguna angulación, y por lo tanto el pie está en posición de equino con respecto a la pierna. En este estadio aparecen las almohadillas digitales. La osificación empieza en el fémur y la tibia así como en la diáfisis del 2, 3 y 4 metatarsianos y la falange distal del primer dedo.

El estadio 23 (27-31 mm, 57 días) marca el final del período embrionario. La superficie medial de los pies es la plantar y contacta la de un pie con el otro, los dedos están separados. La condricificación aparece en el 1° y 5° metatarsiano así como en las falanges distales de los dedos trifalángicos.

## EL PIE EN EL PERÍODO FETAL

Se ha intentado al igual que el período embrionario tratar de establecer unos datos comunes a un mismo período del desarrollo que permitan un estudio comparativo entre unas fases y otras; esto ha sido posible nada más que a grandes rasgos, lo que hace que muchos de los datos pertenecientes a un período puedan aparecer en otro y por ello no es tan útil como lo que se ha realizado con la etapa embrionaria.

En lo que hace referencia al pie se establecen importantes modificaciones en la disposición espacial del mismo, que implicarán una rotación interna de la extremidad inferior sobre todo a nivel del muslo y algo menos de la pierna, lo que trae como consecuencia que el pie del final del período embrionario que está en equino, adducción supinación y discreta rotación externa, en relación con la pierna, adquiera la disposición final del pie, para ello el pie sufre una pronación y una dorsiflexión que junto con la rotación interna del resto del miembro le dan la morfología fetal definitiva.

Estos hechos acontecen entre los 60 y 75 días postfecundación. Lo primero que se produce es la dorsiflexión del pie con relación al tobillo, pero sigue existiendo un cierto grado de pie equino ( $30^\circ$ ), la supinación no se modifica; a nivel de los dedos existe todavía la adducción del primer dedo, en los otros se ha producido una convergencia hacia el eje del pie. En conjunto el pie está en un discreto equinismo con un metatarso varo y en hiper-supinación.

A partir del cuarto mes, se producen nuevas modificaciones en la disposición espacial del pie. Lo primero en desaparecer es el equinismo que prácticamente no existe al inicio del quinto mes. A continuación desaparece el metatarso varo, de tal forma que al final del quinto mes ya no existe. A mediados del cuarto mes se inicia un movimiento de pronación del pie que hace que éste adquiera una posición de supinación media al final del

quinto mes; durante toda la etapa fetal continúa este proceso pero de forma mucho más lenta, de tal forma que al final del embarazo todavía existe en el pie una posición predominante de supinación.

## **LOS HUESOS DEL PIE EN EL PERIODO PRENATAL**

El esbozo de los elementos óseos del pie, está organizado en los embriones del estadio 17 (41 días) por tres radios; el más largo de los tres es el correspondiente al tercer dedo. El eje de la extremidad divide a los elementos del pie en dos partes: una pre(Supra) axial, que contiene el esbozo del primer dedo, al segundo dedo así como al astrágalo, escafoides y las tres cuñas y los dos primeros metatarsianos; la parte post(infra) axial incluye al tercero, cuarto y quinto dedos con sus metatarsianos así como el calcáneo y el cuboides.

En el estadio 18 (43-44 días) entre la parte dorsal de los esbozos mesenquimatosos del peroné y la tibia se introduce en cuña el esbozo del astrágalo. La superficie distal de la tibia desciende más que la del peroné y ello es debido a la oblicuidad que presenta. Esta disposición de la tibia y el peroné se va modificando progresivamente de tal forma que en el estadio 22 (53-54 días) el maléolo peroneo es el que desciende más, previamente durante el estadio 20 el vértice del maléolo peroneo se aproxima mucho al esbozo del calcáneo estando prácticamente en contacto hasta el estadio 22. Es entre estos estadios cuando se establece el esbozo y la disposición de la futura articulación tibio peronea distal. Durante estos estadios aparecen los puntos de osificación de la tibia y el peroné en sus diáfisis.

El calcáneo presenta un esbozo mesenquimatoso, siendo muy pequeño en relación al del astrágalo y sobre todo a la proporción entre ambos huesos existente en el adulto. Lo más característico de este esbozo es la estrechez que presenta su cara superior. La parte más anterior y medial

se corresponde con el astrágalo, mientras que la parte posterior y medial se relaciona y casi contacta con la porción más distal del maléolo peroneo, en esta zona se describe incluso una faceta articular transitoria entre los estadios 20 y 22 y se orienta en dirección preaxial disponiéndose al final de la octava semana cerca del borde medial del astrágalo. Las tuberosidades posteriores del calcáneo aparecen entre los estadios 19 y 20 siendo la primera en aparecer la lateral. Su punto de osificación aparece en el centro del hueso alrededor de las 17 semanas.

El astrágalo aparece delimitado en el estadio 18-19. Su morfología es muy irregular y se parece poco a la del adulto. En él se distingue un segmento anterior, interno e inferior formado por los futuros cuellos y cabeza, y un segmento posterior de disposición transversal, que forma un ángulo de unos 90° con el anterior y que corresponde al cuerpo y, por tanto, a la futura tróclea. En estas fases la cara superior del astrágalo está dispuesta entre las extremidades distales de la tibia y el peroné, mientras que la inferior sólo contacta con la parte más craneal del calcáneo en su tercio preaxial, la cara anterior del esbozo se continúa con la fase de interzonas de la futura articulación astrágalo-escafoidea. Las partes laterales del cuerpo contactan con los maléolos. De esta forma y durante los estadios 18 y 19 el astrágalo está situado medial, paralelo y prácticamente a la misma altura que el calcáneo, ya que el borde externo del astrágalo cubre el borde interno del calcáneo; la futura cabeza no está torsionada y no existe un claro ángulo de declinación a nivel del cuello.

Tan sólo 6-8 días más tarde, esto es en el estadio 22, coincidiendo con la formación en el calcáneo del sustentaculum, el astrágalo se dispone sobre el calcáneo; el astrágalo es ahora más alargado en sentido anteroposterior y se ha estrechado transversalmente. Hay que remarcar dos hechos, que han sido muy debatidos: el mayor crecimiento del borde postaxial de la extremidad, es decir, del borde pero-

neo, que contacta con el calcáneo y que para muchos es el responsable del desplazamiento no ya del astrágalo, como opinan otros, sino del calcáneo en dirección al borde preaxial y por tanto es éste el que se sitúa debajo del astrágalo. Hay otro factor, quizá no tan valorado como el anterior, y es el proceso de rotación interna que sufre la parte distal del miembro inferior, fenómeno que se va a acentuar durante el período fetal.

En el estadio 22 el ángulo de declinación empieza a delimitarse, se delimita la articulación lateral entre el astrágalo y el maléolo tibial, mientras que la del maléolo peroneo no aparece hasta los 60 o 65 días.

El punto de osificación del astrágalo aparece al final del sexto mes.

Es interesante remarcar que a lo largo del período fetal existen modificaciones en el ángulo tibio calcáneo, ángulo de varo-supinación, que disminuye desde unos 38° al inicio del período fetal, hasta unos 25° en el momento del parto.

Otras modificaciones son las que ocurren en el ángulo existente entre los ejes de la cabeza y la tróclea del astrágalo, ángulo de declinación, al final del segundo mes adquiere un valor que oscila entre 25° y 31°, este ángulo decrece muy lentamente de tal forma que en el noveno mes mide entre 23° y 29°. Otro ángulo que modifica su disposición, el de torsión de la cabeza talar; este ángulo prácticamente inexistente al final del período embrionario (estadios 22 y 23) alcanza un valor de 14°, en movimiento rotatorio lateromedial, al final del tercer mes; mide 23° al final del sexto mes y entre 25 y 30, según los individuos, en el momento del nacimiento. Las variaciones de estos dos parámetros también han sido implicadas como factores que favorecen la pronación del pie fetal y corrigen la supinación existente en el período embrionario.

Otros parámetros a tener en cuenta son las modificaciones que sufren el astrágalo y el calcáneo entre sí. Así, el ángulo que forman los ejes longitudinales del as-

trágalo (Tróclea) y del calcáneo sufre una disminución progresiva pasando de unos 13° al final del período embrionario a unos 7° al final del quinto mes, para medir en el momento del nacimiento 1°.

El otro ángulo que sufre modificaciones es el formado por los ejes del cuello astragalino y el longitudinal del calcáneo; al final del período embrionario este ángulo mide alrededor de 48 grados, al final del embarazo mide, aproximadamente, unos 28-30°.

Las modificaciones que sufren durante el período fetal el astrágalo y el calcáneo, en lo que hace referencia a sus dimensiones se pueden resumir en:

- 1° El crecimiento del astrágalo es mayor en altura que en longitud, mientras que en el del calcáneo el predominio es el longitudinal, siendo este crecimiento mucho más marcado en el cuerpo del calcáneo que en sus zonas articulares.
- 2° Ambos huesos sufren un mayor crecimiento de su diámetro transversal en las regiones más posteriores del mismo.

En los otros huesos del tarso las modificaciones más importantes suceden entre el segundo y cuarto mes de vida intrauterina.

El escafoides y el cuboides aparecen definidos en el estadio 20. El primero es más definido, se muestra como una estructura plana rectangular y aparece su condricificación hacia el final del tercer mes, no tiene osificación prenatal. El segundo aparece como un delgado esbozo mesenquimatoso, alargado en sentido próximo-distal, con una prolongación medial orientada hacia el escafoides, a las 9-10 semanas se articula, oblicuamente, con la apófisis anterior del calcáneo; el punto de osificación del cuboides aparece en el noveno mes de vida intrauterina, es utilizado como dato forense ya que en un 95% de los casos está presente en el momento de nacer (9 meses), en el 5 % de los casos restantes lo hace en las dos primeras semanas postnatales.

Los esbozos de las cuñas no son evidentes independientemente hasta el estadio 27. Previamente en el estadio 20, se delimita el esbozo de la primera cuña cuyo eje mayor es oblicuo en sentido antero-medial, en su extremo anterior la cara articular para la base del primer metatarsiano está orientada en sentido medial. El esbozo condricificado de la segunda y tercera cuña es único en el estadio 20 y se hacen independientes en el estadio 27; en estos momentos la superficie articular anterior de la segunda cuña está a la misma altura que la de la tercera cuña y la del cuarto metatarsiano, en el curso del período fetal su menor crecimiento hace que adquiera su tamaño relativo en relación con las otras cuñas. Los puntos de osificación de las cuñas aparecen postnatalmente.

Los elementos del metatarso y dedos son huesos largos en miniatura y lo primero que se esboza es la diáfisis de los mismos. El primer esbozo de todos los huesos del pie corresponde a los metatarsianos 2°, 3°, 4° y 5° que empiezan a condricificarse alrededor del estadio 18; el primer metatarsiano empieza a condricificarse inmediatamente después de las cuñas, en mitad del estadio 20; casi al mismo tiempo aparece la condricificación en las falanges proximales de los dedos 2°, 3°, 4°, 5° y 1°; inmediatamente después aparece el de las segundas falanges de los dedos en el siguiente orden 2°, 3°, 4°, 5° de tal forma que, al final del estadio 21 ya están todos los elementos citados claramente visibles; en el estadio 22 aparece la falange distal del dedo gordo y al final de este estadio y a lo largo del 23 aparecen las falanges distales de los dedos trifalángicos con el siguiente orden 2°, 3°, 4° y 5°, este último aparece justo al final del período embrionario.

Lo más característico del período prenatal en lo referente a los puntos de osificación del metatarso y falanges es la aparición de sus centros de osificación entre la 9ª y 15ª semana. El orden sería:

A) Metatarsianos:

Novena semana: 2°, 3° y 4° metatarsianos.

Décima semana: 5° y 1<sup>er</sup> metatarsianos.

B) Falanges:

Primer dedo: su falange proximal entre la undécima y decimoquinta semana.

Su falange distal entre la novena y la duodécima.

Dedos trifalángicos:

*Falanges proximales:* entre la undécima y decimoquinta con el siguiente orden; 2°, 3°, 4° y 5° dedos.,

*Falanges medias:* entre la decimo-cuarta y decimoquinta semana con el orden citado para las proximales, si bien el del 5° dedo es muy variable y puede aparecer incluso en la vigésima semana.

*Falanges distales:* entre la novena y duodécima semana con el mismo orden que las falanges proximales.

Durante el período fetal el segundo metatarsiano es más largo que el primero, al final del 2° mes el primer metatarsiano mide aproximadamente 0,60 mm y el segundo 0,80 mm y a los nueve meses miden 0,80 mm y 0,85 mm respectivamente, esto implica un mayor crecimiento del primer metatarsiano. Durante el período fetal el varo del primer metatarsiano disminuye y pasa de unos 30° al inicio del tercer mes a unos 9° en el momento del nacimiento. En este mismo período se produce una torsión de las cabezas de los metacarpianos primero y segundo, en relación al plano sagital de la diáfisis. La del primero rota unos 10°-12° en sentido mediolateral, de tal forma que pasa de formar un ángulo de unos 25°-27° al inicio del cuarto mes a un ángulo de unos 13°-15°. El segundo rota en sentido contrario, es decir lateromedial, unos 8°-10°, pasando a medir unos 13°-15° en el cuarto mes a unos 5°-7° en el momento del nacimiento.

Las falanges, durante el inicio del período fetal, son proporcionalmente más largas que los metatarsianos, contrariamente a lo que ocurre en el adulto. Durante el período fetal van a sufrir un menor crecimiento que los metatarsianos

y además ese menor crecimiento es más acentuado en las falanges de los dedos trifalángicos; ese menor crecimiento de las falanges se hace a expensas de las falanges distales y a que las mediales guarden la misma proporción en el feto que en el adulto e incluso las falanges proximales crecen algo más ya que su relación proporcional en el feto es menor que en el adulto. Una simple referencia a los sesamoideos, su esbozo mesenquimatoso aparece alrededor de la 8<sup>a</sup>-9<sup>a</sup> semana originando primero el lateral de la articulación metatarsofalángica del primer dedo y una semana después el medial que suele tener un esbozo doble; la condricificación de ambos empieza alrededor de la 13-14 semana.

## **LAS ARTICULACIONES DEL PIE EN EL PERIODO PRENATAL**

La fase de interzona articular homogénea aparece en primer lugar en las articulaciones metatarsofalángicas al final del estadio 20, al final del estadio 21 empiezan a estar definidas en el resto de las articulaciones.

La fase de interzona trilaminar empieza al final del período embrionario o inicios del fetal. La primera en aparecer es la del tobillo y en el curso de breves días están todas formadas. La cavitación comienza al final de la octava semana y se inicia también en la del tobillo, el resto de las articulaciones se cavita entre la novena y undécima semana.

En lo que hace referencia a la disposición de las carillas articulares de las articulaciones, éstas se modifican en el curso del desarrollo. Así las carillas articulares subastragalinas ven modificadas su posición en función de los movimientos descritos en el pie.

A este respecto un autor, Victoria (1978), ha señalado que la modificación de la disposición espacial del pie y consecuente-

mente la de sus elementos es debida a un crecimiento desigual en el tiempo y en el espacial de los componentes del borde tibial y peroneo. Así en el pie crecería en dos fases distintas:

- A) Una fase embrionaria que ocurre entre los estadios 21-23 en los que el pie crece fundamentalmente a expensas del borde preaxial (peroneo) y que es responsable de la posición embrionaria del pie.
- B) Una fase fetal: que ocurre durante el 3° y 4° mes, en la que el pie crece fundamentalmente por su borde preaxial (tibial) lo que conlleva a la aparición de la disposición fetal del pie.

En todos los estudios de las modificaciones de la disposición espacial del pie en el embrión y en el feto, se observa que no se tienen en cuenta las modificaciones que sufren las otras articulaciones del miembro inferior, sobre todo las de la cadera. Así se olvida con frecuencia que en las fases iniciales del desarrollo del miembro inferior no existe prácticamente ángulo cérico diafisario en el fémur y que al final del período embrionario el cuello femoral forma un ángulo de casi 160° con el eje de la diáfisis, ángulo que va disminuyendo progresivamente en el período fetal en el que alcanza un valor de unos 145° en el momento del nacimiento; pero además el ángulo de anteversión es también muy grande si se le compara con el del adulto, al final del tercer mes alcanza un valor de unos 55° para disminuir progresivamente y alcanzar unos 40° en el recién nacido. En el cotilo también existen modificaciones importantes, y así el ángulo acetabular, prácticamente inexistente (5°) al final del período embrionario, aumenta progresivamente su valor para llegar a los 20°-30° en el recién nacido. No se conoce con certeza cuáles son los factores que regulan las modificaciones de estos ángulos, para algunos es debido al crecimiento del esbozo de la cabeza femoral durante el período fetal así como a la disminución de la flexión de la cadera.

Procesos que alteren la normal modificación fetal de los ángulos descritos en la articulación coxofemoral pueden implicar alteraciones en la normal disposición espacial del pie, de tal forma que, cuando el niño empieza a andar el apoyo que tie-

ne que realizar durante la marcha o la estática no sea el correcto y esto pueda influir a su vez en la normal construcción de la arquitectura ósea del pie, condicionada por una mala biomecánica adaptativa a la anomalía de la cadera.

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

1. BARDEEN, C. R., LEWIS, W. H.: *Development of the limbs, body wall and back in man*. Am. J. Anat. 1:1, 1901-1902.
2. BARLOW, T. E.: *Some observations on the development of the human foot*. Thesis, University of Manchester, Manchester, 1943.
3. BEAU, A.: *Recherches sur le développement et la constitution morphologiques de l'articulation du cou-du-pied chez l'homme*. Arch. Anat. Histol. Embryol. 26:205, 1939.
4. BLAIS, M. M., GREEN, W. T., ANDERSON, M.: *Lengths of the growing foot*. J. Bone Joint Surg [Am] 38:998, 1956.
5. BOHM, Max: *The embryologic origin of club foot*. J. Bone & Jt. Surg. 11: 229, 1929.
6. CUMMINS, H.: *The topographic history of the volar pads (walking punts, Tastballen) in the human embryo*. Contrib. Embryol. 20, No. 113:105, 1929.
7. CHAMBERS, C. H.: *Congenital anomalies of the tarsal navicular with particular reference to calcaneo-navicular coalition*. Brit. J. Radiolog. 23: 580, 1950.
8. FISAS GRAUPERA, J.: *Valoraciones de forma y posición de los huesos del tarso posterior durante el desarrollo embrionario. Su interés en el estudio de la patología del pie equino-varo congénito*. Tesis de la Facultad de Medicina. Universidad de Barcelona, 1974.
9. GARDNER, E., GRAY, D. J., O'RAHILLY, R.: *The prenatal development of the skeleton and joints of the human foot*. J. Bone Joint Surg. [Am] 41, No. 5:847, 1959.
10. GIANNISTRAS, J. J.: *Foot Disorders*, 2nd ed., pp. 70-73, 84. Philadelphia, Lea & Febiger, 1973.
11. HAINES, R. W.: *The development of joints*. J. Anat. 81: 33, 1947.
12. HARRIS, B. J.: *Observations on the development of the human foot*. Thesis, University of California, 1955.
13. HASSELMANDER: In Straus W. L. Jr.: *Growth of the human foot and its evolutionary significance*. Contrib. Embryol. 19:95, 1927.
14. HOERR L. N., PYLE, S. I., FRANCIS, C. C.: *Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Foot and Ankle -A Standard of Reference*. Springfield, Charles C. Thomas, 1962.
15. JIT, I.: *Observations on prenatal ossification with special reference to the bones of the hand and foot*. J. Anat. Soc. India, 6: 12, 1957.
16. NOBACK, C. and ROBERTSON, G. G.: *Sequences of appearance of ossification centers in the human skeleton during the first five prenatal months*. Amer. J. Anat. 89: 1, 1951.
17. MARTIN, P.: *Contribution a l'etude des articulations des membres chez l'embryon humain*. These, Univ. de Lausann, P.: 56, 1926.
18. OLIVIER, G.: *Formation du Squelette des Membres*, pp. 145-189. Paris, Vigot Freres, 1962.
19. O'RAHILLY, R.: *Developmental deviations in the carpus and the tarsus*. Clin. Orthop. 10: 9, 1957.

20. O'RAHILLY, R.: *The development and the developmental disturbances of the limbs*. Irish. J. Med. Science. January: 30, 1959.
21. O'RAHILLY, R.: *The human foot. Part. I: Prenatal development*. From N. J. Giannestras. *Foot disorders. Medical and Surgical Management*. P. P.: 16, 1973. Lea & Febiger. Philadelphia. 2<sup>o</sup> Edition.
22. O'RAHILLY, R.: *The ossification of the skeleton of the limbs*. Irish. J. Med. Science. February: 78, 1962.
23. O'RAHILLY, R. and GARDNER, E.: *The initial appearance of ossification in the human embryos*. The Amer. J. Anat. 134: 291, 1972.
24. O'RAHILLY, R. E., GARDNER, E., and GRAY, D. J.: *Roëntgenographic investigation of the human skeleton during early fetal life*. Am. J. Roentgen. 76: 455, 1956.
25. O'RAHILLY, R. and GARDNER, E. and GRAY, D. J.: *The skeletal development of the foot*. Clin. Orthop. 16: 7, 1960.
26. O'RAHILLY, R., GRAY, D. J., GARDNER, E.: *Chondrification in the hands and feet of staged human embryos*. Contrib. Embryol. 36, No. 250:185, 1957.
27. O'RAHILLY, R., GARDNER, E., GRAY, D. J.: *The skeletal development of the foot*. Clin. Orthop. 16:7, 1960.
28. O'RAHILLY, R., GARDNER, E., GRAY, D. J.: *The ectodermal thickening and ridge in the limbs of staged human embryos*. J. Embryol. Exp. Morphol. 4:256, 1956.
29. ROIG PUERTA, J.: *Estudio Anatomofuncional del astrágalo*. Tesis Universidad de Barcelona, 1958.
30. SENIOR, H. D.: *The condriification of the human hand foot skeleton*. Anat. Rec. Abstract. 42: 35, 1929.
31. SERRANO CEPEDANO, F.: *Contribución al estudio de la morfogénesis del pie: calcáneo, astrágalo y escafoides en los estudios del desarrollo que preceden a la osificación*. Tesis de la Facultad de Medicina de la Univesidad Complutense de Madrid, noviembre de 1969.
32. STRAUS, W. L., Jr.: *Growth of the human foot and its evolutionary significance*. Contrib. Embryol., 19: 93, 1927.
33. STREETER G. L.: *Weight, sitting height, head size, foot length and menstrual age of the human embryo*. Contrib. Embryol. 11, No. 55:156, 1920.
34. VICTORIA DÍAZ, A.: *Contribución al estudio embriológico del tarso*. Tesis Doctoral. Murcia, 1977.