

# Revista Española de Cirugía Osteoarticular

Número 128  
Año 22 - Tomo 22  
Valencia, marzo-abril 1987

*Rev. Esp. de Cir. Ost. (67-77) 1987*

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE. FACULTAD DE MEDICINA  
DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA

Prof. J. PUERTA FONOLLA

## La bóveda plantar

L. F. LLANOS ALCAZAR

### RESUMEN

La bóveda plantar constituye el carácter más distintivo del pie humano. Podemos considerarla estructurada en un sistema funcional visco-elástico, merced a sus componentes músculo tendinoso y dermo-aponeurótico y osteo-ligamentario que le va a conferir su rigidez esencial para soportar las sollicitaciones mecánicas.

Comparando su evolución en la escala filogenética con la arquitectónica, llegamos a la conclusión de que, en definitiva, se produce una economía de material por un lado, y un diseño especializado por otro.

Descriptores: Boveda plantar. Concepto anatómico.

### SUMMARY

The foot vault is the most distinguished morphological feature of the human foot.

It is formed by a complex visco-elastic functional system made out of muscle, dermo-aponeurotic and osteo-ligament components. These will all gather in different joint units which will supply it with the essential stiffness, in order to support the mechanical demands.

Its philogenetic evolution - in the same way as the architectural disposition brings us to the conclusion that, after all, a sparseness of material takes place within a specialized design.

Key words: Foot vault. Anatomical conception.

«No existe diferencia entre estructura y función; son dos lados de la misma esquina. Si la estructura no nos dice nada acerca de la función, es que no la hemos mirado correctamente».

(SZENT-GYÖRGY)

### Introducción

Conforme con el criterio del paleontólogo BOULE, el pie es una de las características

más netas del género Homo. Esta especialización se caracteriza fundamentalmente por:

1. Ausencia de oposición del Hallux, traducida en la aproximación del dedo gordo a los otros dedos del pie.
2. La reducción de los dedos laterales, de manera que la fórmula digital es 1.2.3.4.5 o bien 2.1.3.4.5.
3. La aparición de la bóveda plantar

longitudinal que, añadida a la transversal, da a la planta el aspecto de semicúpula cóncava hacia abajo.

Esta excavación o bóveda plantar constituye no solamente el carácter más distintivo del pie humano, sino también la diferencia más esencial entre los pies de distintas razas, de forma que OLIVIER llega a una esquematización de las variaciones raciales en el sentido de afirmar que la acentuación de la bóveda plantar caracteriza a los blancos, en tanto que su atenuación es típica de los negros, quedando la raza amarilla en un estadio intermedio.

### Qué es la bóveda plantar

El pie humano normal, en vez de tocar el suelo con toda la superficie, como es sabido, presenta una excavación en forma de nicho que, desde el borde interno del pie se extiende en una profundidad variable según los individuos hacia el borde externo; dicha excavación a veces alcanza totalmente el borde del pie y otras queda lejos del mismo.

Dicho en palabras del anatómico Julián DE LA VILLA «si observamos el esqueleto del pie por la planta, veremos que forman una concavidad muy pronunciada el tarso y metatarso; esta concavidad es lo que se denomina bóveda plantar».

De lo antedicho se infiere uno de los datos más característicos, y es el de su indefinición: Región o zona plantar que se define más bien por lo que no es que por unos límites precisos. Pero aún cuando queramos huir aquí y ahora de una anatomía descriptiva, galénica, perfilaremos brevemente los citados límites.

Clásicamente viene definida como una semibóveda sostenida por tres arcos y tres puntos de apoyo: Uno posterior, constituido por los tubérculos interno y externo del calcáneo, y dos anteriores, uno interno, formado por la cabeza del primer metatarsiano, y

otro externo constituido por la cabeza del quinto. Según esta descripción, entre los dos últimos puntos se tendería un arco anterior, entre calcáneo y primer metatarsiano un arco interno y entre los dos puntos de apoyo externos, un arco externo. De ellos el interno es el más importante, correspondiendo la parte más culminante de la bóveda al espacio existente entre el sustentaculum tali y el escafoides.

Los datos morfológicos más salientes referidos al esqueleto, podemos resumirlos como sigue: 1.º *Arco interno*, constituido por la sucesiva articulación del calcáneo (que descansa en el suelo por su extremo posterior), astrágalo (que recibe las fuerzas provenientes de la cadena cinética del miembro inferior), escafoides (clave o porción más elevada de la bóveda, a unos 15-20 mm. del suelo), primera cuña y primer metatarsiano, que descansa en el suelo por su cabeza. 2.º *Arco externo*, comprendiendo tres piezas óseas: Calcáneo, cuboides (suspendido por completo) y quinto metatarsiano, cuya cabeza constituye el punto de apoyo anterior. Este arco, a diferencia del anterior, es poco elevado (3-5 mm.) y tiene contacto con el suelo a través de las partes blandas. 3.º *Arco anterior*, que se tiende desde la cabeza del primer metatarsiano (apoyada en los dos sesamoideos) a la del quinto, situándose la clave de la bóveda a nivel del segundo metatarsiano. El apoyo sobre el suelo se realiza por medio de las partes blandas.

A partir de esta visión esquemática surgió uno de los puntos más controvertidos en torno a la forma de apoyo del pie: La denominada teoría del «trípode», esto es, del apoyo del pie sobre tres puntos gozó de gran aceptación, pese a que D. J. MORTON en 1930 y 1935 demostrara la existencia de apoyo a nivel de las cabezas de los cinco metatarsianos.

BRUCE y WALMSLEY, ELFTMAN y diversos autores se han unido progresivamente a esta idea hoy prácticamente aceptada por

todos. VILADOT y TRONCOSO por métodos fotopodográficos demostraron cómo el pie normal carga el talón, borde externo, cabeza de *todos* los metatarsianos y pulpejos de los dedos, especificando que es más evidente el apoyo del dedo gordo y a veces falta el del quinto. El mismo VILADOT insiste sobre este problema apoyándose en diversos hechos y experiencias derivadas de la Anatomía comparada, embriología, anatomía (cortes seriados de antepie en piezas congeladas sometidas a cargas de 35 Kg., sobre la rodilla en flexión), radiología, podología y clínica (síndrome de insuficiencia del primer radio).

Y es que la teoría del trípode no explica suficientemente la plasticidad de comportamiento de la bóveda, su capacidad de adaptación, ni tampoco permite comprender algunos de los desequilibrios mecánicos que, con frecuencia asientan a su nivel. Es preciso completar esta imagen esquemática con la existencia real de varios arcos o arcadas transmisoras de fuerzas y con capacidad de soporte, que, (en este esquema recogido por VILADOT) se expresa en cinco arcos longitudinales o radios, cada uno de los cuales pre-

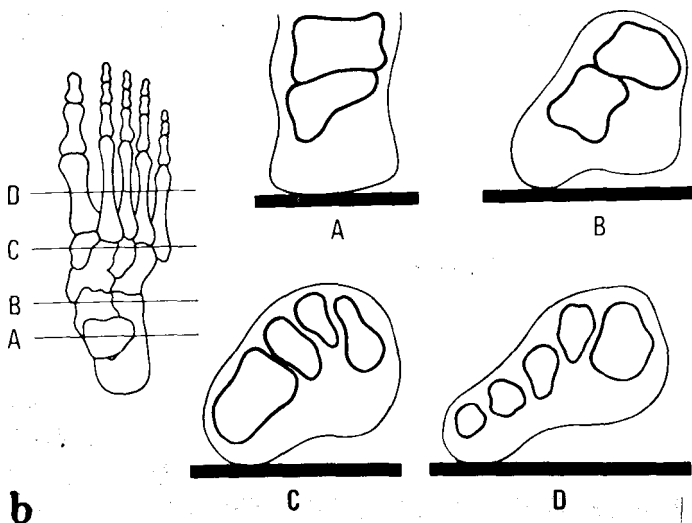
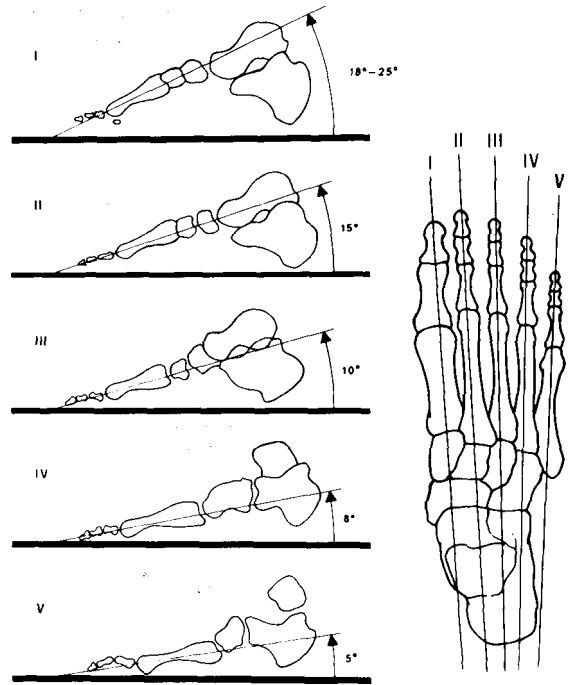


FIG. 1.— a) Arcos longitudinales del pie. b) Arcos transversales del pie. Tomado de VILADOT y cols. (Diez lecciones sobre patología del pie; pp. 6-8. Toray, Barcelona, 1979.

senta un ángulo diferente con el plano horizontal —según mediciones de HICKS—, y en tres transversales (Fig. 1). Estos arcos de diferente altura, espesor y aún elasticidad vienen a depositarse en el suelo a nivel de las cabezas metatarsales y tendrán su expresión mecánica en la disposición de las trabéculas de esponjosa.

En consecuencia, y como indica MARTORELL, «el arco anterior transverso es una expresión que no corresponde a una base mecánica ni arquitectural sostenible». Más aún, la anatomía comparada nos orienta claramente sobre la paulatina desaparición de dicho arco como signo de la evolución de los antropoides al hombre.

Este mismo autor, aplicando las teorías de MORTON sobre las cargas soportadas a nivel de las cabezas metatarsianas, ha llamado la atención sobre la que denomina «alineación frontal en carga» (complemen-

tada con la longitudinal). Dicha alineación se basa en la transferencia de una carga definida para cada cabeza, transferencia que se realizará no a través de una superficie rígida y limitada, sino por intermedio de una almohadilla de partes blandas o almohadilla plantar, que disminuirá la presión por centímetro cuadrado de superficie de apoyo. Dicha alineación será normal cuando todas las cabezas carguen sus correspondientes unidades de peso a la misma altura (Fig. 2).

### La bóveda plantar es un sistema funcional

Alfredo BENNIGHOFF creó el concepto de Sistema Funcional, indicando que es posible reunir en los organismos vivos las formas relativamente estáticas (cuyo conocimiento compete a la anatomía) con los procesos y funciones (que se incluyen dentro de la fisiología) para formar sistemas funcionales que, como él mismo definió son «el conjunto de varias formaciones tisulares que colaboran útilmente en pos o hacia un rendimiento supraordenado». Y añadió que estos sistemas funcionales deberán perder su aspecto relativo para integrarse unos con otros, constituyendo una única entidad cual es la *forma del ser vivo*.

Pues bien, la bóveda plantar podemos considerarla constituida en un sistema funcional en cuya génesis van a colaborar fundamentalmente tres unidades funcionales: Osteo-articular, músculo-tendinoso y dermo-aponeurótico.

1.º *Una unidad funcional osteoarticular.* La bóveda deriva fundamentalmente de la disposición del esqueleto y en especial de la posición del calcáneo. La unidad osteoarticular se basa fundamentalmente en la existencia de una construcción en mosaico agrupada en un «complejo articular periastragalino» constituido por las articulaciones tibiotarsiana, calcáneoastragalina, calcáneoastragaloescafoidea y mediotarsiana (Fig. 3).

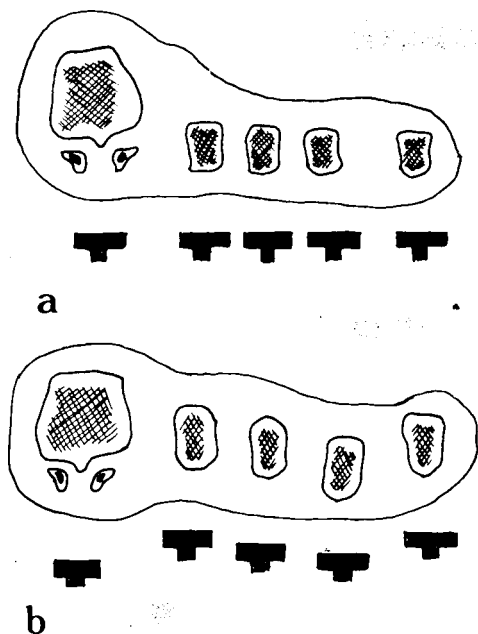


FIG. 2.—a) Alineación frontal en carga de los metatarsianos según MARTORELL: Esquema de alineación normal y patológica. b) Sobrecarga de metatarsianos centrales.

Desde el punto de vista morfológico estas articulaciones van a mantener unas uniones sólidas entre sí, con independencia del grado de movilidad que les permita la configuración de sus carillas articulares; y esto es así merced a la existencia de unos potentes ligamentos que, actuando especialmente en la cara plantar a modo de tirantes que resisten las fuerzas de tensión, mantendrán la cohesión articular. Citemos a modo de ejemplo los ligamentos calcáneoastragalino interóseo, calcáneoescafoideo plantar, calcáneoocuboideo plantar o los ligamentos intermetatarsianos.

Desde el punto de vista articular se van a producir una serie de movimientos, respecto de los ejes articulares del complejo periastragalino que, a través de una secuencia cinética se corresponderán sucesivamente con la flexoextensión a nivel de la tibiotarsiana, inversión-eversión y listesis en la subastragalina y rotación en pronación o supinación a nivel de la mediotarsiana. En resumen, la musculatura del miembro va a impulsar un movimiento combinado helicoidal a nivel del pie que se traducirá en alteraciones de la configuración y apoyo de la bóveda plantar.

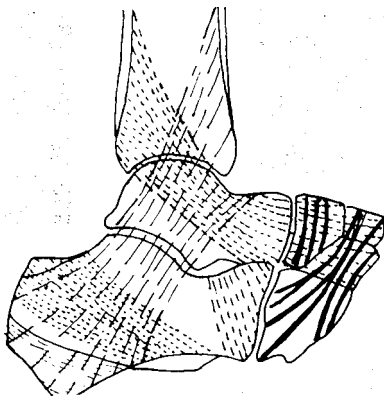


FIG. 3.- Disposición «mosaico» del complejo articular periastragalino. Se aprecia la continuidad de los haces trabeculares principales a través de las unidades funcionales.

2.º *Una unidad funcional músculo-tendinosa.* Como quiera que las piezas de construcción ósea de la bóveda plantar están ancladas por ligamentos, había que esperar que el pie cuando más se cargara cediera algo, esto es, se hiciera más largo y ancho; pero no ocurre así como puede demostrarse radiológicamente sino que, al contrario, se hace más corto y estrecho. Este hecho se debe a la existencia de los tendones de algunos músculos que van a formar a modo de estribos alrededor de la bóveda (Tibial anterior, posterior y peróneo lateral largo). Ahora bien, por esta disposición los músculos no contienen de un modo permanente a la bóveda a través de su tono sino que pueden intervenir en cualquier momento para fijarla a través de una contracción propia.

Por su parte, los músculos cortos plantares, aparte de los interóseos, tienen origen en la parte posterior del pie (directamente o por medio de su fijación en ligamentos y tendones) pasando a través de todas las articulaciones entre los huesos del tarso y metatarso. Su contracción hace más rígida la bóveda en contra de la dirección de la carga que ejerce presión sobre la misma. Estos músculos son más gruesos que los dorsales y más eficaces cuanto más se acercan a la cuerda del arco como hemos tenido ocasión de comprobar electromiográficamente, pudiendo incluso tensar la aponeurosis superficial por medio de sus inserciones en ella (12 y 13).

Por su parte los músculos interóseos van a actuar más sobre los dedos que sobre la bóveda. En el pie desnudo, especialmente en las huellas de los animales, cualquier postura forzada se reconoce porque las huellas digitales entran más en el suelo; los cazadores deducen así si el animal ha sido herido.

3.º *Una unidad funcional dermo-aponeurótica.* El hecho de unir la aponeurosis a la cubierta dérmica creemos que está justificado por tres razones fundamentales: a) No se limita a ser una formación de re-

cubrimiento de la musculatura, sino que, estructurada en una formación ligamentosa potente que se extiende desde el calcáneo al pie anterior, va a tensar longitudinalmente la bóveda, contribuyendo a mantener su arquitectura. Representa uno de los elementos básicos de lo que denominamos el componente visco-elástico de la bóveda. b) Por otra parte, va a constituir una zona de deslizamiento a través de la gruesa almohadilla plantar que dotará de mayor flexibilidad y adaptación al conjunto. c) Además, y por medio de los tabiques subepidérmicos, va a establecer una importante relación con la piel plantar, favoreciendo los mecanismos protectores de la misma. Así la capa basal de la dermis, en lugar de recubrir las forma-

ciones profundas por medio de tejido adiposo subcutáneo, se adhiere a las mismas mediante una apretada red de gruesos cordones fibrosos que, partiendo de dicha capa basal, van a fijarse a la fascia muscular y a la aponeurosis plantar.

La piel plantar cumple dos funciones capitales dentro del sistema funcional de la bóveda: 1.º Una función de protección. 2.º Una función vascular (Fig. 4).

La función de protección va a lograrse por intermedio del cojinete adiposo hipodérmico del talón, que amortiguará las fuerzas perpendiculares o tangenciales excesivas que se produzcan durante el salto o la marcha. De igual importancia va a ser su localización a nivel del apoyo metatarsal, amortiguando igualmente las cargas soportadas por las cabezas metatarsales.

La función vascular tiene su origen en la existencia de una rica red vascular que, además de las redes subaponeurótica, subdérmica, subepidérmica y perisudorípara con innumerables anastomosis, se va a caracterizar por tres particularidades que confieren a esta región su individualidad: a) La vascularización papilar; b) la anormal densidad de comunicaciones arteriovenosas para subvenir la regulación térmica, sudorípara y de la presión de retorno venoso; c) la bomba plantar, que por medio de la denominada plantilla venosa plantar o plexo de LEJARS, realiza durante la marcha la función de un verdadero corazón venoso periférico.

*En resumen:* «La bóveda plantar se constituye en un sistema funcional visco-elástico merced a sus componentes músculo-tendinoso y dermo-aponeurótico, que, adaptándose a las cargas externas (fuerzas) o internas (stress), reaccionará frente a ellas para recuperar su disposición arquitectural. Además se constituye en un sistema funcional ósteo-ligamentario que, agrupado en diferentes unidades articulares, le va a conferir su rigidez esencial para soportar las sollicitaciones mecánicas».

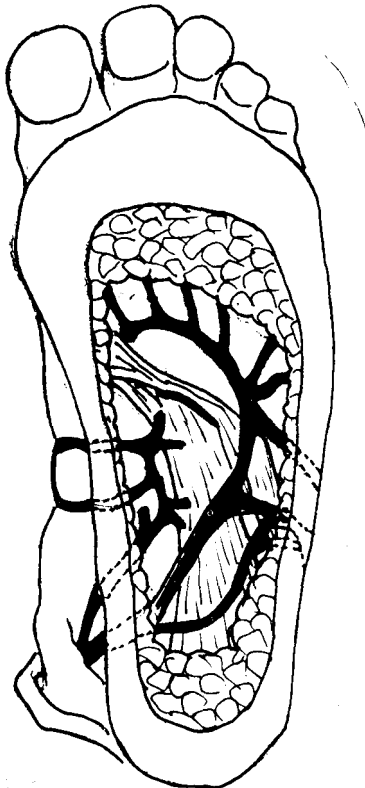


FIG. 4.— Unidad funcional dermo-aponeurótica: Cojinete adiposo, aponeurosis plantar, red venosa plantar.

### Qué representa la existencia de la bóveda plantar

Para el paleontólogo y el antropólogo, el pie es casi más importante que la mano en la historia de la línea humana; es una parte del cuerpo muy especializada que se adapta tanto morfológicamente como fisiológicamente a su función de soporte y vehículo del mismo.

El esquema o plan arquitectural del pie es el autópodo pentadáctilo esquematizado por GEGENBAUER y confirmado por la embriología. Dicho plan, que va a desarrollarse durante el período embrionario, comprende tres niveles: 1.º El basípodo o tarso. 2.º El metápodo o metatarso. 3.º El acrópodo, comprendiendo los dedos con tres falanges, excepto el hallux que solamente tiene dos.

Según este plan el pie se desarrollará en los tres ejes del espacio y el desarrollo en altura que conllevará la bóveda plantar va a plantear al investigador una serie de preguntas que, resumimos en dos:

a) La bóveda se puede reconocer ya en el feto, pero no aparece realmente hasta la

marcha, por lo que podría considerarse como una adaptación del pie a la misma. Sin embargo, las líneas de fuerzas óseas existen antes del nacimiento —desde el comienzo de la osificación—; se trata pues, de una auténtica preadaptación (Fig. 5).

b) La planta del pie del hombre es muy diferente a la del mono, lo cual parece normal ya que está adaptada a su forma de caminar. Lo que es más difícil de explicar es el porqué existe antes de la marcha.

Con esta breve digresión onto y filogenética hemos querido enfatizar por un lado, el sentido trascendente que dentro de la evolución de la especie representa la bóveda, y por otro, salir al paso del supuesto aplanamiento de los pies en niños de corta edad del que oímos hablar con frecuencia injustificadamente, y que, como es sabido, se debe a la gruesa almohadilla plantar existente en dicha época.

### ¿Es una bóveda?

La bóveda plantar, sobre la que descansa el peso del cuerpo, se conforma como una

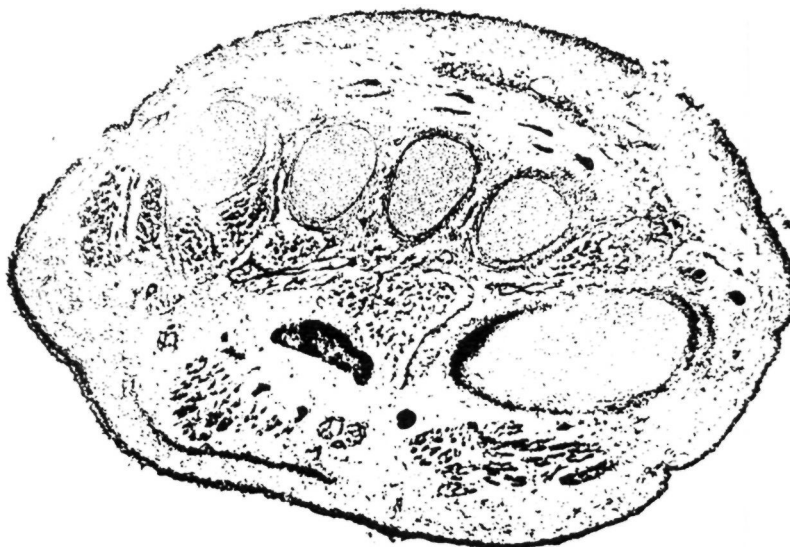


FIG. 5.— Corte transversal en un pie fetal: Se observa claramente la disposición ósea en semicúpula.

sustitución de plena validez a las columnas de los cuadrúpedos pesados, cuyos extremos posteriores siguen en línea recta para sostener el peso del cuerpo sobre la punta de los dedos.

Por su parte la bóveda plantar humana ofrece una mayor superficie de apoyo para el pie aislado que la columna estirada o recta. Está curvada, como se ha dicho, de delante atrás y de dentro afuera, y al descargar el pie, en conjunto, puede utilizarse como una palanca de dos brazos: Podemos inclinarla hacia atrás, sobre el brazo más corto y hacia adelante sobre el más largo (posición sobre el talón y sobre la punta de los dedos). El juego del pie entre estos extremos, con todas las variantes de los movimientos intermedios posibles en las articulaciones de los pies, es una condición fundamental para nuestra marcha, carrera y salto, facilitándonos la posición de pie sobre dos extremidades inferiores en terrenos muy diferentes.

Considerada en su conjunto, KAPANDJI describe la bóveda como tal, sostenida por tres arcos, apoyándose sobre un plano horizontal en los vértices de un triángulo equilátero; el peso de la misma se aplica sobre la clave, repartiéndose a través de los arbotantes hacia los puntos de apoyo o «estribos del arco». Volveremos sobre ello.

Pero, ciertamente, esta figura sólo es válida para la posición de ortostatismo relajado y no para cualquier otra posición del pie.

Así, en el caso de la posición de pie sobre ambas piernas con pies en posición pa-

ralela, el segundo y tercer metatarsianos están cargados especialmente cuando las rodillas están flexionadas; si se extienden al máximo, la carga se desplaza básicamente hacia el borde lateral del pie, sobre 3.º y 4.º. En la posición militar de firmes, el peso principal descansa sobre el primer metatarsiano.

En la bóveda plantar normal, la línea media de la polea astragalina pasa entre el 2.º y 3.º dedos. Cuanto más pronunciada sea la bóveda, tanto más se aproximará este eje al dedo gordo; en caso de pie plano será medial al mismo, de ahí la extrema eversión o posición hacia afuera del pie plano (Fig. 6). De esta manera, como es sabido, se va a modificar el tipo de carga durante la bipedestación y la marcha, hecho este que se observa fisiológicamente en las diferentes fases de apoyo de la marcha.

Pero queremos volver sobre la pregunta de *cómo es la bóveda*. La definición inicial de VILLA sobre el concepto de bóveda, que hemos elegido por su sencillez, deja en el aire el tipo de construcción que realmente se adapte mejor a las exigencias mecánicas del pie.

Ya hemos comentado la teoría del trípede; otros autores son partidarios de compararla con una semicúpula, una bóveda, uno o más arcos o una cúpula. Revisaremos brevemente estos conceptos, comenzando por la definición arquitectónica de bóveda:

«Obra de fábrica que sirve para cubrir el espacio comprendido entre dos muros o varios pilares». En esta definición se hace alusión a la existencia de arcos que soportan y transmiten las cargas que recaen sobre la superestructura.

Si recordamos la evolución arquitectónica de las bóvedas a partir del arco románico, observamos cómo se produce un progresivo ahorro de material que, paradójicamente, permite una construcción más atrevida, más airosa e igualmente estable. Este es el caso del gótico cisterciense. En definitiva, una construcción maciza y fuertemente apoyada

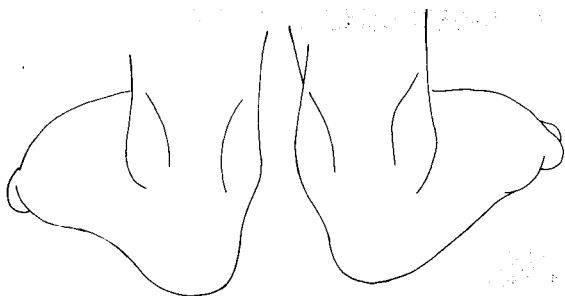


FIG. 6.—Orientación típica de pies planos en carga.



se va abandonando por otra más ligera (Fig. 7).

Si pensamos en este hecho llegamos a la conclusión de que, en definitiva, se produce una economía de material, por un lado, y un diseño especializado por otro.

Igualmente, en la evolución filogenética hasta el pie humano, se va a producir este mismo fenómeno que, expresado en la ley de ROUX del «mínimo-máximo», consigue la obtención de la máxima función con el mínimo material.

¿Cuál es la disposición básica que adopta la excavación plantar? Con el pie en carga, siguiendo un eje longitudinal se hace evidente tanto la no existencia de un espacio claro entre el suelo y borde externo del pie, como la de un espacio amplio de altura variable con el borde interno. Si observamos el pie transversalmente según un plano frontal, hallaremos un arco o nicho en la porción media del pie; distalmente apoyan los cinco metatarsianos por sus cabezas, y es inexistente el arco transversal.

En definitiva, el esqueleto del pie se dispone en forma de cinco unidades arqueadas que, fusionándose posteriormente en el cal-

cáneo, se separan anteriormente a semejanza de las bóvedas góticas que hemos señalado. Una tal construcción puede comportarse mecánicamente como un arco, como una cercha o como una viga curvada.

Un *arco* es una estructura arqueada multisegmentaria, genéricamente con un vértice central y dos arbotantes a cada lado soportados por elementos fijos como pueden ser dos columnas.

La *cercha* es una variante del arco, en el que la separación de ambos extremos se ve impedida por un tirante colocado en la base. Cuando se aplica peso en el vértice, las riostras o jabalcones están bajo compresión y el tirante bajo tensión. El pie está provisto de dicho mecanismo por la existencia de la aponeurosis plantar.

La *viga curvada* es unisegmental y cuando recibe cargas verticalmente en su segmento medio, genera fuerzas compresivas en la superficie convexa y tensiles en la cóncava. Un arco puede comportarse como una viga convexa si los diferentes segmentos se construyen (o sitúan) conjuntamente en la cara cóncava por medio de elementos de co-



FIG. 7.— Evolución del concepto arquitectónico de arco: a) Arco románico. b) Arco gótico.

nexión tales como los gruesos ligamentos existentes en el pie (Fig. 8).

HICKS demostró experimentalmente que, bajo condiciones de carga en ortostatismo, el pie reacciona como una cercha y como una viga. En la posición de puntillas o en la correspondiente fase de la marcha es más importante el mecanismo de cercha debido al efecto de cabrestante por el cual se acorta la aponeurosis plantar.

MC CONAILL contribuyó a perfeccionar el concepto mecánico de la bóveda expresado en lo que denominó «lámina pedis», que estructuralmente viene a estar formada por todo el esqueleto óseo del pie —exceptuando el astrágalo— con sus ligamentos de soporte. Se trata de una lámina retorcida, aplanada de arriba abajo —a nivel de las cabezas meta-

tarsales— y de lado —a nivel de calcáneo—. Es una lámina flexible cuyo giro generará el arco longitudinal interno y el transverso de mediotarso; la altura del arco aumentará con la pronación de la lámina pedis, como puede apreciarse si colocamos los pies uno al lado de otro, cruzados; por el contrario, el arco descenderá con la supinación de la lámina pedis, como puede observarse cuando ponemos los pies alejados en ortostatismo al producirse un giro en supinación de antepie más una eversión de retropie (Fig. 9).

Llegados a este punto es fácil de comprender que una construcción rígida, llámese arco, cúpula o bóveda, por sí sola no va a explicar las características de comportamiento del apoyo plantar humano. Lleva razón en este sentido PÉREZ CASAS cuando afirma que «estas definiciones en arquitectura corresponden a conjuntos que se mantienen por el peso de sus componentes» y en el caso que nos ocupa no es así.

Pero no es menos cierto que las formas arquitectónicas referidas, globalmente nos dan una valiosa idea de la disposición espacial de la superestructura que define el apoyo plantar y que en parte por ese motivo y también por la fortuna alcanzada por la expresión seguiremos denominando *bóveda plantar*.

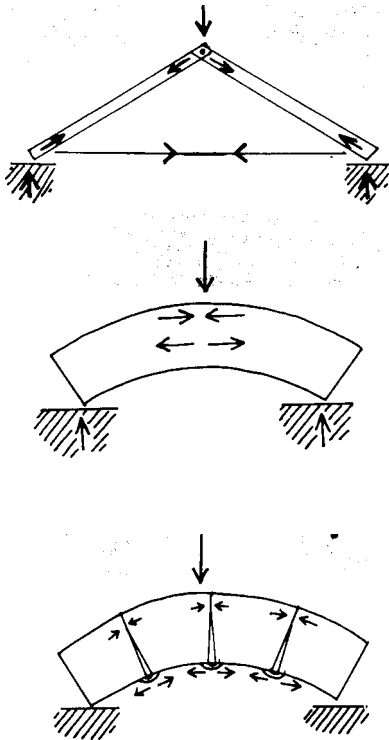


FIG. 8.— Cercha, arco y viga curvada según esquema de HICKS (14).

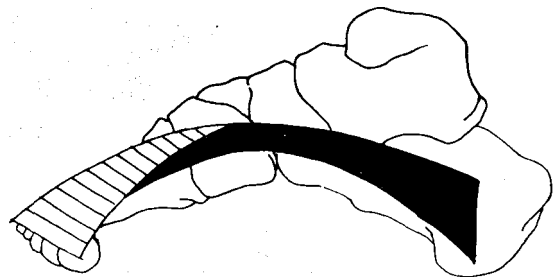


FIG. 9.— La «lámina pedis» de Mc CONAILL (15).

## BIBLIOGRAFIA

1. BOULE, H.: Citado por OLIVIER.
2. OLIVIER, G. (1965): «Anatomie Anthropologique». Vigot Frères, Edit., 370.
3. VILLA, J. de la (1948): Lecciones de Anatomía Topográfica. Miembros (Tomo IV). Madrid.
4. MORTON, D. J. (1930): Structural Factors in static disorders of the foot. *Am. J. Surg.*, 9, 315-326.
5. MORTON, D. J. (1935): The human foot. Its evolution, physiology and functional disorders. Columbia University Press. New York.
6. BRUCE, J. y WALMSLEY, R. (1938): Some observations on the arches of the foot and flat foot. *Lancet*, 235, 656-659.
7. ELFTMAN, H. (1960): The transverse tarsal joint and its control. *Clin. Orthop.*, 16, 41-46.
8. VILADOT, A. y TRONCOSO, J. (1964): Metatarsalgia. (Ponencia al X Congreso Nacional de la S.E.C.O.T.). *Rev. Ortop. Traum.*, 9 IB.
9. VILADOT, A. (1974): Patología del antepié. pp. 25-40. Ed. Toray, Barcelona.
10. MARTORELL, J. (1973): Concepts et études sur la métatarsalgie et son traitement. *Podologie*. T. VIII. Fasc. 2.º, 237-270.
11. BENNINGHOFF, A. (1930): Die Anatomie des Funktioneller Systeme. *Morphol. Jahrb.*, 65, 1-10.
12. LLANOS, L. F. (1975): Soporte muscular de la bóveda plantar estática. Tesis Doctoral. Universidad Complutense. Madrid.
13. NÚÑEZ, M.; LLANOS, L. F.; MARTÍN, J. y GÓMEZ, L. (1985): Análisis funcional y estadístico de los sistemas estáticos de la bóveda plantar. *Chir. del Pie*, 8, 147-150.
14. HICKS, J. H. (1961): En Evans, F.G. ed. Biomechanical studies of the musculo-skeletal system. Springfield, Charles C. Thomas.
15. Mc CONAILL, M. S. y BASMAJIAN, J. V. (1969): Muscles and Movements: A Basis for human kinesiology. p. 246. Baltimore. Williams and Wilkins.