

# SISTEMA AQUILEO-CALCÁNEO-PLANTAR

\* ESPINOSA MONZADA, Carlos  
\* GALLART ORTEGA, José

## Prólogo del trabajo fin de carrera.

Gracias a los incansables esfuerzos dedicados a la preparación de este trabajo de fin de carrera, **José Gallart Ortega y Carlos Espinosa Mondaza**, han realizado una revisión bibliográfica sobre "**SISTEMA AQUILEO-CALCÁNEO-PLANTAR**" recopilando datos de la biomecánica y patomecánica estructural.

En la revisión bibliográfica consultada no aparece este sistema Aquileo-Calcáneo-Plantar asociado al "**Pie Cavo, Pie Plano, Pie Varo y al Pie Valgo**" constatándose esta definición en las diferentes bibliografías y a las nomenclaturas asociadas a las diferentes estadísticas

El estudio realizado sobre la revisión bibliográfica, va seguido de una exploración biomecánica partiendo de un estudio o análisis global de la postura en las diferentes posiciones, *en decúbito, en posición sedente, en bipedestación orto estática y/o en dinámica, así como las diferentes pruebas complementarias.*

Este trabajo de fin de carrera conducente al *Diploma de Podología*, es un trabajo coherente ya que se ha conseguido combinar el tratamiento podológico, "**Pie más es Tratamiento Ortopodológico y Fisioterapéutico**". Posiblemente sea uno de los primeros estudios íntegros realizados sobre las alteraciones y/o patologías más frecuentes del pie, combinando el tratamiento Ortopodológico y Fisioterapéutico.

El trabajo realizado por **José Gallart Ortega y Carlos Espinosa Mondaza**, alumnos de Tercer Curso de las Enseñanzas de la Diplomatura de Podología, es considerable ya que han realizado un estudio analítico apoyándose en el estudio funcional biomecánica y Ortopodológico, Electropodológico y Fisioterapéutico interrelacionando entre sí el pie, el soporte, la Fisioterapia y el calzado, así como su repercusión en el aparato locomotor realizando la valoración global del ser.

Antonio Oller Asensio

A nuestro tutor, Antonio Oller Asensio por dedicarnos parte de su tiempo orientando nuestro trabajo de fin de carrera. Agradecer su colaboración, tanto por ayudarnos a salir de nuestros "atascos" como por el hecho de hacernos reflexionar sobre cuestiones vinculadas al ámbito podológico.

A Patricia y Leila, a nuestros familiares y amigos por el apoyo prestado animándonos a continuar con nuestra labor.

## ABREVIATURAS.

- a.: Aceleración.
- A. C. V.: Accidente cerebro-vascular.
- AINEs: Antiinflamatorios no esteroideos.
- C.N.: Condiciones de normalidad.
- d.: Distancia.
- E.E.M.: Extremidades inferiores.
- e.m.g.: Electromiografía.
- F.: Fuerza.
- nw: Masa.
- M.: Momento.
- m.t.f: Metatarsofalángica.
- mtt. Metatarsianos.
- Rx. Rayos X.
- SACR: Sistema Aquileo-Calcáneo-Plantar.
- TAC. Tomografía Axial Computerizada.

## INTRODUCCION.

Las primeras referencias bibliográficas que se tienen del Sistema Aquileo-Calcáneo-Plantar corresponden a los profesores R. Arandes y A. Viladot en su artículo "Biomecánica del calcáneo" publicado en 1.956.

La realización de este trabajo de fin de carrera tiene por objeto llenar nuestro vacío teórico que tiene el sistema, ya que es citado en numerosas ocasiones sin llegar a realizar una descripción exhaustiva del mismo, teniendo en cuenta la frecuencia de patologías que se relacionan con él.

En este trabajo se explica la forma de actuar del sistema, primero de una forma aislada y posteriormente integrado en la Biomecánica de la marcha humana y su estado en los diferentes tipos de pies. También hemos realizado un patrón de exploración de las diferentes partes del sistema.

No podíamos finalizar el trabajo sin dar una pincelada a las patologías más frecuentes del sistema que surge debido a una disfunción o patomecánica.

## 2.- COMPONENTES DEL SISTEMA AQUILEO-CALCÁNEO-PLANTAR.

Entendemos por sistema, un conjunto de tejidos asociados para desempeñar una determinada función fisiológica. Así, tres unidades diferentes como son el tendón de Aquiles, el calcáneo y la aponeurosis plantar formarían un

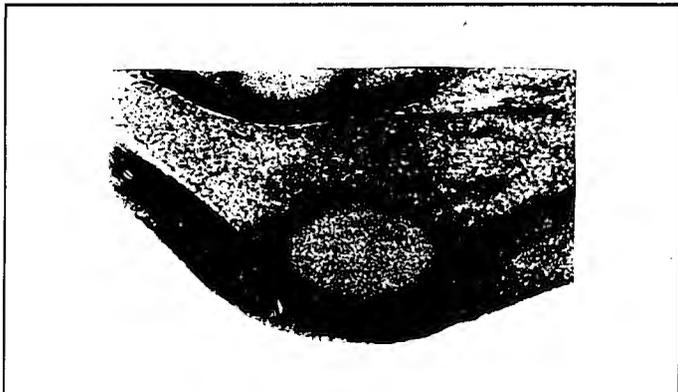
\*DIPLOMADOS EN PODOLOGIA: Trabajo fin de carrera, Diplomatura en Podología, Universidad de Barcelona, 1995-1998.

TUTOR: Prof. D. Antonio Oller Asensio.

CORRESPONDENCIA: C/ Reina Fabiola, 22-24- 5.º I - 50008 ZARAGOZA.

sistema tendinoso-óseo-aponeurótico encargado básicamente de realizar una flexión plantar. Varios hechos avalan la existencia de este sistema:

- Anatómicos: Según Sieberg las fibras del tendón de Aquiles se continúan rectamente con las trabéculas del calcáneo, que en este punto aparecen muy densas.



*Corte sagital del SACP en el embrión.*

Embriológicos: En cortes de embriones se ha encontrado una continuidad directa desde el tendón de Aquiles hasta los músculos y aponeurosis de la planta del pie, quedando hacia delante un esbozo cartilaginoso que dará origen a la aparición del núcleo primario de osificación del calcáneo.

- Filogénicos: Este sistema sería el resultado de la osificación del músculo triceps, que en los animales se extiende desde el fémur hasta los metatarsianos.

- Clínicos: Muchos procesos patológicos se comprenden mejor teniendo el concepto de unidad global.

## 2.1. Tendón de Aquiles.

El tendón de Aquiles es el tendón terminal común del tríceps sural, formado por tres cuerpos musculares. De las tres cabezas una sola es monoarticular, el soleo: éste se fija a la vez en la tibia y en el peroné y en la arcada fibrosa del soleo que reúne estas dos inserciones. Las otras dos cabezas son biarticulares, los gemelos. El gemelo externo se fija por encima del cóndilo externo del fémur y en la cáscara condílea externa. El gemelo interno se fija a nivel del cóndilo y de la cáscara condílea interna. Los cuerpos carnosos convergen en la línea media y forman la V inferior del rombo poplíteo. Cada cabeza está inervada por las ramas S1-S2 del nervio tibial

Es el tendón más grueso y más fuerte del cuerpo humano. Mide unos 5-6 cm. de largo, de 12-15mm. de ancho y de 5-6mm. de espesor; nace cerca de la mitad de la pierna, pero su superficie anterior recibe fibras musculares del soleo casi hasta su extremo inferior.

Paulatinamente se hace más redondo, hasta la altura de unos 4 cm. encima del calcáneo. Por debajo de este nivel se expande y se inserta en la cara posterior del calcáneo, sobre la zona media. Una bolsa serosa lo separa de la porción superior de dicha cara. Las fibras del tendón sufren un giro de 90° a medida que desciende, de modo, que por ejemplo las fibras internas se convierten en las más posteriores.

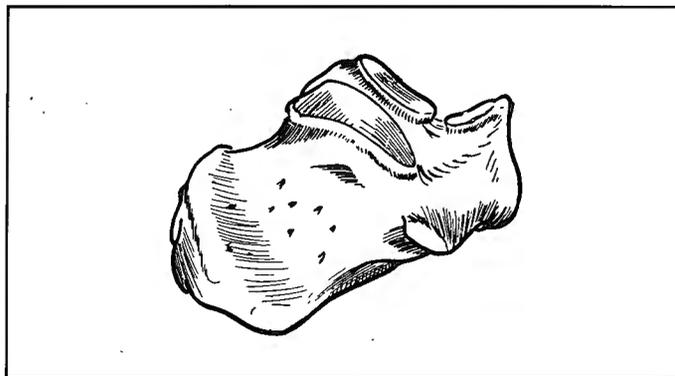
Esta disposición permite un cierto grado de alargamiento y contractura elásticas, por tanto el almacenamiento de energía en el tendón, la cual se liberará en la deambulación.

## 2.2. Calcáneo.

El calcáneo es el mayor de los siete huesos que forman el tarso, que constituyen la mitad posterior del pie.

Los huesos del tarso se forman a partir de un solo punto de osificación a excepción del calcáneo que tiene dos. El calcáneo se forma precozmente. El núcleo primario de osificación puede tener dos nódulos, y aparece entre el quinto y sexto mes de vida intrauterina. El núcleo secundario de osificación, apofisario posterior, aparece a la edad de siete a diez años, y se fusiona en su totalidad hacia los 16 años en el sexo femenino y de 16-20 años en el masculino.

El calcáneo se sitúa inferiormente al astrágalo y se proyecta hacia atrás para formar el relieve del talón. El astrágalo presenta en su cara inferior dos carillas articulares con el calcáneo. La carilla antero-interna es convexa de delante hacia atrás y a veces se subdivide en dos carillas, una posterior y otra anterior. La carilla postero-externa mira oblicuamente hacia abajo y hacia atrás; es plana transversalmente y cóncava en sentido antero-posterior; esta carilla es mayor que la antero-interna.



*Carillas articulares con el astrágalo.*

El calcáneo, anteriormente se articula con el hueso cuboides y está fuertemente unido a él y al resto de los huesos del tarso por medio de ligamentos.

La superficie posterior está ensanchada y presenta tres áreas. La más superior es lisa, donde se sitúa una bolsa serosa entre ella y el tendón del calcáneo; La media, también es lisa y convexa, recibe dicho tendón y presenta normalmente un borde inferior irregular o dentado. El área más inferior, tuberosidad calcánea, es rugosa y está cubierta por un fuerte tejido fibroso. En esta zona de la tuberosidad presenta un gran tubérculo o apófisis medial, y uno más pequeño que se extiende anteriormente a él, el tubérculo o apófisis lateral.

La superficie inferior se continua hacia delante formando un área rugosa que tiene 2-3 cm. de ancho y termina en un tubérculo anterior.

La superficie anterior del calcáneo está ocupada por una cara articular cóncavo-convexa para el cuboides.

La superficie superior está ocupada por una gran superficie articular posterior, oval, para el astrágalo, conve-

xa antero-posteriormente. Entre ésta y la superficie anterior se encuentra un área rugosa cuadrilátera para inserciones musculares y ligamentosas. La zona medial del área presenta anteriormente la superficie articular anterior para el astrágalo y forma el suelo del seno del tarso. La porción intermedia de la superficie superior se proyecta medialmente a manera de una bandeja gruesa que soporta el cuello del astrágalo y se denomina sustentaculum tali. La superficie superior del sustentaculum tali presenta una superficie articular media para el astrágalo que puede ser independiente o unida con la superficie articular anterior.

La superficie medial del calcáneo es lisa y cóncava entre el surco y la apófisis medial de la tuberosidad calcánea.

La superficie lateral es plana aunque tiene un tubérculo en su parte inferior situado centralmente. Se trata de una tróclea peroneal.

Según la Ley de Wolff el esqueleto está constituido por una serie de trabéculas que adopta la forma más idónea para el soporte de las diversas fuerzas que sobre él actúan, dependiendo de la estructura del pie. En el calcáneo existen 5 sistemas trabeculares:

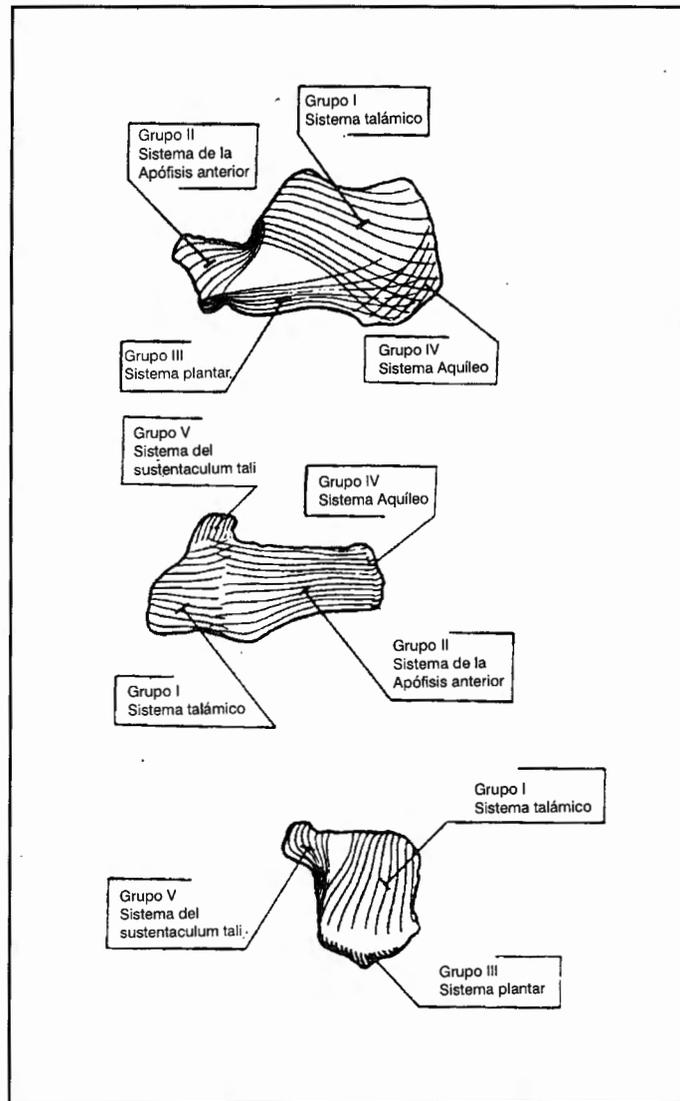
**1.º Sistema talámico.** Está formado por trabéculas que partiendo en forma de abanico de la superficie talámica, se extienden a toda la gran tuberosidad. Las anteriores adoptan una dirección más vertical, y las posteriores tienden a horizontal. Tiene por misión soportar una parte del peso que le llega a través del astrágalo y de la tibia. Cuando el pie se apoya en el suelo por toda la planta, el peso actuaría principalmente a través de las trabéculas más anteriores y verticales; con el pie en flexión, la carga seguiría las fibras más posteriores, que toman apoyo en las partes más altas del casquete posterior del calcáneo.

**2.º Sistema de la apófisis anterior o cuboideo.** Se halla formado por el conjunto de trabéculas, que partiendo del tálamo y parte de la carilla articular superior antero-interna, se extiende en forma divergente hacia la articulación calcáneo-cuboidea. Este sistema transmitiría las fuerzas que llegan desde el tálamo, cuando el pie se halla en extensión.

**3.º Sistema plantar.** Comprende unas pocas trabéculas situadas en la porción inferior del calcáneo, y que se extienden longitudinalmente de la porción posterior del mismo, hacia la articulación calcáneo-cuboidea, formando una ligera concavidad hacia arriba. Su misión sería la de solidarizar los dos sistemas anteriores, impidiendo el derrumbamiento del calcáneo por separación exagerada de estos dos sistemas.

**4.º Sistema aquileo.** Formado por las trabéculas postero-inferiores. Más que un sistema representa el elemento de unión entre el tendón de Aquiles y la aponeurosis plantar, integrando el sistema de nuestra tesina. Por una parte transmitiría la fuerza del tendón de Aquiles hacia el resto de la planta del pie y, por otro lado, durante la marcha en la flexión plantar del pie.

**5.º Sistema interno o del sustentaculum tali.** Consiste en un conjunto de trabéculas verticales, originariamente oblicuas hacia abajo y hacia afuera, que partiendo de la carilla articular antero-interna, se irían a apoyar hacia afuera en la potente lámina compacta que forma la cara interna del calcáneo. Su acción es sostener la cabeza del astrágalo, con el que se articula el sustentaculum tali. Cobra una gran importancia en el mantenimiento del arco interno del pie.



Sistemas trabeculares del calcáneo.

### 2.3. Aponeurosis plantar.

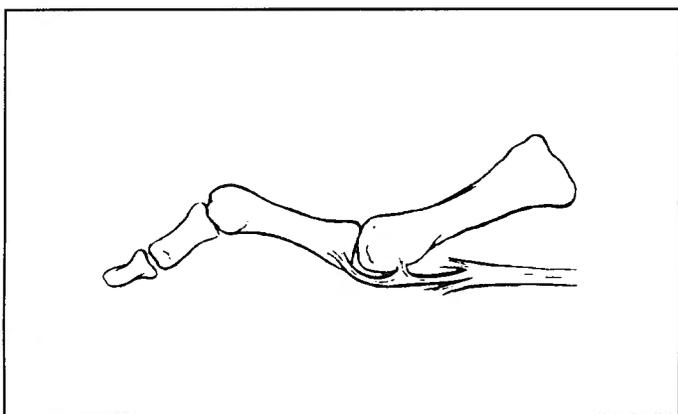
La aponeurosis plantar es una banda densa que relaciona calcáneo y antepie, compuesta por fibras de colágeno dispuestas preferentemente en sentido longitudinal, aunque también en el transversal. Tiene una forma triangular, con base distal y vértice proximal.

La aponeurosis plantar se compone de una banda central, llamada fascia plantar, y otras lateral y medial correspondientes a los tres compartimentos del pie. Estos compartimentos están separados uno de otro por extensiones de la fascia (tabique longitudinal medial y lateral) que transcurren profundos y se unen al hueso.

La fascia plantar es la más resistente y gruesa. Está estrechada en su parte posterior, donde se inserta en la tuberosidad interna del calcáneo, localizada proximal al Flexor corto común de los dedos, haciéndose más ancha y más delgada al abrirse en abanico en dirección a las cabezas de los mtt. Estas cinco bandas están unidas por fibras transversales en el lugar donde comienzan a separarse por debajo de los mtt. Cada una de estas bandas se divide a su vez en otras dos ramificaciones, una superficial y otra profunda. Los fascículos más superficiales se unen a la dermis

mediante ligamentos dérmicos, y otras fibras se desvían, y corren transversalmente.

Bojsen-Möller y Flaystad describieron cada fascículo profundo como divisiones en pares de tabiques sagitales. Hay dos tabiques sagitales para cada dedo, que pasan por el lado tibial y peroneal del tendón del flexor creando una vaina a través de la cual una serie de arcos se cruzan. Estas fibras se unen en la fascia interosea y ligamento metatarsal transversal, que luego se combinan con las cápsulas plantares y ligamentos de las articulaciones metatarso-falángicas para formar una superficie plantar proporcionando una firme inserción en la base de las falanges proximales de todos los dedos del pie.



Inserción de la aponeurosis plantar en la base de la falange proximal.

La porción central es la más ampliamente aponeurótica, ya que la banda medial y lateral son simplemente la cubierta fascial de los músculos Abductores del primer y quinto dedo respectivamente.

Podríamos considerar como parte de este sistema a los músculos cortos del pie, especialmente el Flexor corto plantar y Abductores del primer y quinto dedo.

El Flexor corto plantar cubre al Flexor largo común y su accesorio. Se inserta proximalmente en la tuberosidad interna e inferior del calcáneo y en la cara dorsal de la aponeurosis plantar. El músculo se divide en cuatro fascículos que se continúan por cuatro tendones. Cada tendón se divide, a nivel de los dedos, en dos cintillas que rodean a cada lado el tendón del Flexor largo común y se reúnen debajo de él para ir a fijarse en los bordes laterales de la cara anterior de la falange media.

El Abductor del primer dedo nace de la tuberosidad interna e inferior del calcáneo, y del ligamento anular interno de la garganta del pie y de la cara profunda de la aponeurosis plantar. Las fibras musculares llegan a un largo tendón que se inserta, con el fascículo interno del Flexor corto, en el sesamoideo interno y en la parte interna de la falange proximal.

El Abductor del quinto dedo nace de la tuberosidad infero-externa del calcáneo, de la tuberosidad infero-interna por delante de las inserciones del Flexor corto plantar y de la cara profunda de la aponeurosis. De estos diferentes orígenes, se dirige hacia delante y termina por un tendón aplano y largo en la parte externa de la base de la falange proximal del quinto dedo.

### 3. BIOMECANICA DEL SISTEMA AQUILEO-CALCANEO-PLANTAR.

La biomecánica es la ciencia que incorpora las leyes que rigen la física a la descripción de la capacidad motora, la función normal o la patológica de los seres vivos superiores. El estudio complejo del movimiento en un organismo vivo responde a la morfología de las estructuras interesadas y a la fisiología responsable del gesto motor; por lo tanto, guardará estrecha relación con la anatomía, histología, fisiología...

#### 3.1. Modelo físico.

##### 3.1.1 Sistemas de Equilibrio.

Las moléculas que componen la materia están interaccionando mediante fuerzas. Las fuerzas se representan con un vector que tiene cuatro elementos geométricos: módulo, dirección, sentido y punto de aplicación. El conjunto de fuerzas que actúa sobre un cuerpo sería el sumatorio de fuerzas.

Para que un sistema se encuentre en equilibrio tienen que cumplirse dos condiciones:

La primera condición de equilibrio es necesaria pero no suficiente. Se basa en la segunda Ley de Newton, o Ley fundamental de la dinámica, que se expresa como  $F=m \cdot a$ . Si un cuerpo está en equilibrio su velocidad será cero o constante, con lo que su aceleración será cero y su  $\Sigma F=0$ .

La segunda condición de equilibrio es necesaria y suficiente. Se expresa mediante el momento ( $M$ ) de una fuerza respecto a un punto; donde  $d$  sería la distancia de  $F$  al punto de aplicación. El equilibrio del sistema vendrá dado por:  $F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2$ , con lo que  $\Sigma M=0$ .

##### 3.1.2. Palanca.

Arquímedes dijo: "dádme un punto de apoyo y moveré el mundo". Con ello quiso significar el hecho de que con una fuerza muy pequeña, aplicada a una palanca podría generarse una mucho mayor a la original.

En los diversos desplazamientos que tienen efecto bajo la influencia de las contracciones musculares, las piezas óseas pueden compararse por todos sus aspectos con esa sencilla máquina que en Mecánica recibe el nombre de palanca, y, como ésta ofrecen un punto de apoyo, una potencia y una resistencia. El punto de apoyo es el punto fijo alrededor del cual gira la palanca, se corresponde pues, a una articulación. La potencia es la fuerza que solicita el desplazamiento de la palanca; se haya representada por el músculo o músculos que se insertan en ella. La resistencia es la fuerza que hay que vencer.

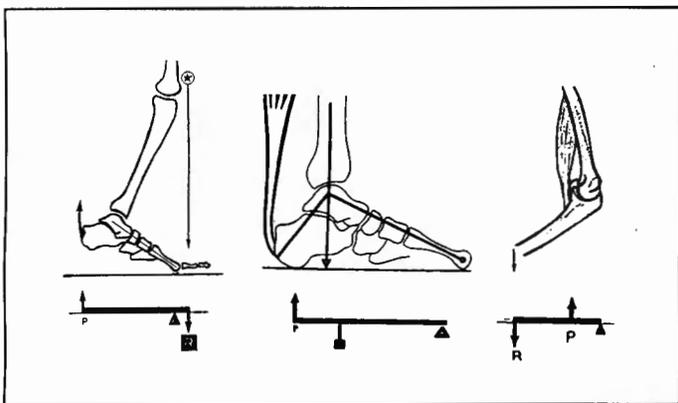
Según la situación respectiva del punto de apoyo y de los puntos de aplicación de la potencia y de la resistencia se distinguen tres tipos de palanca:

- 1.º Palanca de primer género: es la que tiene su punto de apoyo entre el punto de aplicación de la potencia y el punto de aplicación de la resistencia. Sería la acción del SACP en dinámica, en la fase de despegue. El punto de apoyo corresponde a las articulaciones metatarsofalángicas. La resistencia se halla representada por el peso del cuerpo, que tiene tendencia a caer hacia delante. La poten-

cia está representada por los músculos posteriores de la pierna y por su tonicidad equilibran la resistencia.

- 2.º Palanca de segundo género: es aquella en la cual el punto de aplicación de la resistencia se encuentra situado entre el punto de apoyo y, el punto de aplicación de la potencia; por esta circunstancia se llama también palanca interresistente. Este tipo de palanca es muy rara en la mecánica animal y en el hombre se halla en un solo caso que correspondería al SACP.

- 3.º Palanca de tercer género o palanca interpotente: es aquella cuyo punto de aplicación de la potencia se encuentra entre el punto de apoyo y el punto de aplicación de la resistencia. Este tipo de palanca es la más frecuente en el organismo. Se encuentra en la mayoría de los movimientos de las extremidades, especialmente en los movimientos de flexión y extensión. La flexión del antebrazo sobre el brazo nos ofrece un ejemplo estupendo. El punto de apoyo corresponde a la articulación del codo; la resistencia está representada por el antebrazo y la mano esté libre o sosteniendo un peso; la potencia se halla representada por el músculo bíceps y braquial anterior, cuyo punto de aplicación está situado en su misma inserción, entre el punto de apoyo, que está encima, y el punto de aplicación de la resistencia, que se encuentra debajo.



Esquema de los diferentes tipos de palancas.

### 3.1.3. Tercera Ley de Newton. Peso.

También se conoce como la Ley de acción y reacción, y dice:

*“Si una partícula A ejerce una fuerza sobre B, la partícula B ejercerá sobre A otra fuerza igual en módulo y dirección pero en sentido contrario”.*

Según esta Ley, las fuerzas nunca aparecen solas sino en pares; pero teniendo presente que estos pares de fuerzas actúan sobre cuerpos diferentes.

Analizando las fuerzas que actúan en un cuerpo colocado en reposo sobre la tierra, este cuerpo estaría sometido a la acción del campo gravitatorio terrestre, es decir, la fuerza de su peso. A su vez, se genera otra fuerza de reacción ejercida por la tierra sobre el cuerpo.

El astrágalo se encarga de distribuir el peso del cuerpo en tres vertientes, una postero-inferior, otra antero-interna y la última antero-externa. En todos los puntos de apoyo se originará, procedente del suelo una reacción o respuesta al peso del cuerpo. En el retropie, existirá una fuerza que actuaría sobre el calcáneo, y que se transmitiría por las fibras del sistema talámico hacia el astrágalo.

## 3.2. Funciones del sistema.

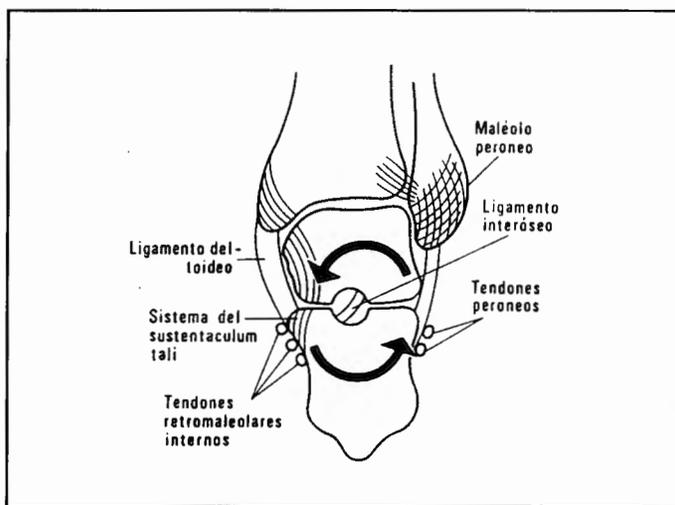
### 3.2.1. Estabilización del retropie.

Lo más sencillo y aproximado es considerar al pie como formado por una bóveda, que tiene un apoyo posterior, que constituye el retropie (astrágalo y calcáneo) y otro anterior, que constituye el antepie (MTT).

Si separamos los huesos que constituyen el retropie de la pinza maleolar y de sus conexiones músculo-ligamentosas, éstos se caen en valgo y en equino; es decir, harían un movimiento de pronación y flexión plantar cayendo el astrágalo adelante, abajo y adentro del calcáneo.

Deberán existir unos sistemas que estabilicen el retropie en sentido frontal y longitudinal.

En sentido frontal encontramos elementos que trabajan a compresión, ejerciendo un tope óseo para la pronación, y otros que actúan a distensión limitando con su tracción un exceso de supinación.



Estabilización frontal del retropie.

Los elementos que actúan compresión son el maléolo peroneal, que llega más distal que el maléolo tibial, impide el movimiento en valgo peroneo del astrágalo. En el borde interno está el sistema trabecular del sustentaculum tali, mantiene la carilla articular antero-interna del astrágalo y actúa con las fuerzas que proceden del maléolo tibial.

Las estructuras que trabajan a distensión son ligamentos. Así el ligamento deltoideo, que son tres haces que van del maléolo tibial a astrágalo y calcáneo, entra en tensión al sufrir el pie una pronación. El ligamento de la sindesmosis tibio-peronea, que impide la separación entre tibia y peroné, evitando así la salida del astrágalo de la pinza maleolar. El ligamento interóseo de la articulación subastragalina que mantendrá unido astrágalo y calcáneo. La acción ligamentosa se ve reforzada por:

Los tres tendones retromaleolares internos (Tibial posterior, Flexor Largo Común de los dedos y Flexor Largo propio del primer dedo).

Contracción de la musculatura extrínseca del pie, evitando la abertura de la articulación tibio-peroneo astragalino.

En sentido longitudinal la estabilización corresponde conjuntamente con el ligamento interóseo de la articulación

subastragalina, cuya función es evitar el deslizamiento del astrágalo hacia delante del calcáneo, al SACP, que impediría básicamente la flexión plantar del calcáneo. El SACP actúa como un único ligamento. Las fibras del tendón de Aquiles adoptan una dirección craneo-caudal utilizando el calcáneo para cambiar a una dirección próximo distal mediante la aponeurosis plantar.

Así, el calcáneo es abrazado por su parte posterior y plantar de manera que encaja con el astrágalo. El calcáneo está sujeto por dos cinchas, una tendinosa con cierto tono muscular y otra resistente que es aponeurótica. Entonces el calcáneo se estabilizaría en sentido longitudinal de la misma manera que la mano sujeta una culata de un fusil. La fascia plantar tensa longitudinalmente la bóveda e impide su derrumbamiento. El ligamento calcáneo-cuboideo es un potente refuerzo que mantiene el arco externo del pie.

### 3.2.2. Flexión plantar.

El SACP es una unidad que sirve para transmitir hacia las estructuras distales del pie la fuerza del tendón de Aquiles, que se sumaría a la fuerza de los flexores cortos de pie. La acción del SACP será alejar el dorso de pie de la cara anterior de la pierna, es decir una flexión plantar, que sirve para colocar el pie en posición de puntillas.

#### 3.2.2. 1 Calcáneo como polea de reflexión

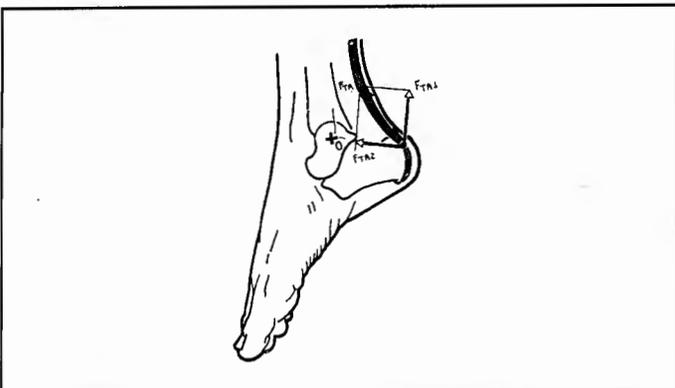
Uniendo el tendón de Aquiles y la aponeurosis plantar hallamos las trabéculas posteriores del calcáneo (Sistema Aquileo), que actuarían como un potente sesamoideo de manera similar a como lo hace la rótula contra el cuádriceps y el tendón rotuliano, para aumentar la eficacia del tríceps en su función.

La fuerza del tendón de Aquiles,  $F_{TA}$ , se aplica sobre el extremo posterior del calcáneo, en una dirección formando un ángulo muy acusado con su brazo de palanca. Esta fuerza se descompone en:

$F_{TA1}$  : Fuerza perpendicular al brazo de palanca, que es el componente eficaz, es decir, la fuerza que causa el movimiento.

$F_{TA2}$ : Es el componente centrípeto, formado por una aceleración centrípeta que refleja el cambio continuo de la dirección del vector fuerza dirigido al centro del eje de giro.

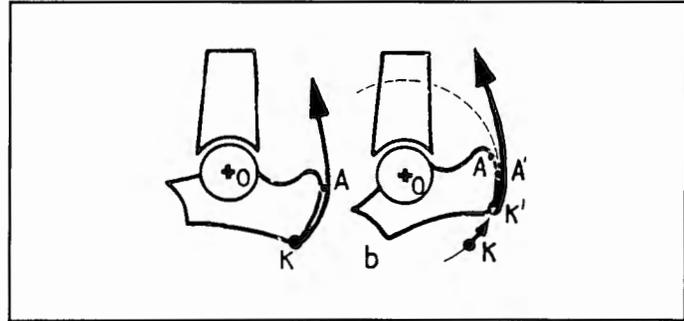
El componente eficaz predomina sobre el componente centrípeto en cualquier posición en la que se encuentre el tobillo, debido al modo de inserción del tendón de Aquiles.



Fuerzas del tendón.

La fuerza muscular se aplica al punto de tangencia del tendón con la cara posterior del calcáneo, no en el punto de inserción del tendón, estando separados estos puntos por una bolsa serosa. Así pues, en la posición de flexión plantar el tendón se distancia de la posterior del calcáneo y el punto de tangencia desciende con relación al hueso, pero la dirección del brazo de palanca (variación del punto de tangencia respecto al eje de movimiento), permanece siempre sensiblemente horizontal y forma un ángulo constante con la dirección del tendón.

En definitiva, la forma de inserción del tendón del Aquiles permite que este se "desenrolle" sobre la polea que formaría la cara posterior del calcáneo, aumentando la eficacia del músculo tríceps en la flexión plantar.



Calcáneo como polea.

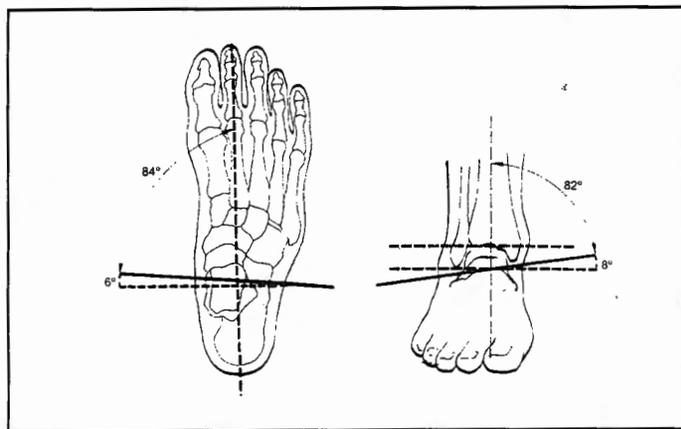
#### 3.2.2.2. Ejes de movimiento.

La articulación subastragalina y la tibioperonea astragalina se comportan funcionalmente como un cardán heterocinético (modelo mecánico simplificado). Sus ejes de giro están situados en planos diferentes de tal forma que los movimientos que tienen lugar en cada una de ellas implica el movimiento de la otra.

La alineación de las superficies articulares de la articulación tibioperoneo astragalina determina la orientación del movimiento del eje resultante. Funcionalmente puede considerarse como una bisagra, permitiendo el movimiento en un plano sobre un único eje fijo. El movimiento de flexión plantar se produce en el plano sagital alrededor de un eje transversal.

La posición exacta, sin embargo, está definida entre las articulaciones del astrágalo y la cara interna del maléolo tibial. La alineación maleolar en plano transversal muestra una posición más adelantada del maléolo tibial que del peroneal, y una posición más caudal del maléolo peroneal que del maléolo tibial en un plano frontal. El eje real surge distal al vértice del maléolo tibial, pasa distal y posterior a través del cuerpo del astrágalo y sale por un punto distal y anterior al vértice del maléolo peroneal. Este eje se desvía  $6^\circ$  en plano frontal y  $10^\circ$  en el plano transversal; por esto el movimiento de la tibioperoneoastragalina se produce en los tres planos del espacio.

La articulación subastragalina conecta un elemento vertical (pierna) con uno horizontal (pie). La articulación de Chopart amplifica los movimientos que se producen en la articulación subastragalina, realizando los mismos movimientos. Estas acciones se realizan en torno a un eje empírico que corresponde con el eje de la subastragalina, que penetrando por la cara supero-interna del cuello del astrágalo, pasa a través del seno del tarso y sale por la parte postero-externa del calcáneo. Es decir, existe una

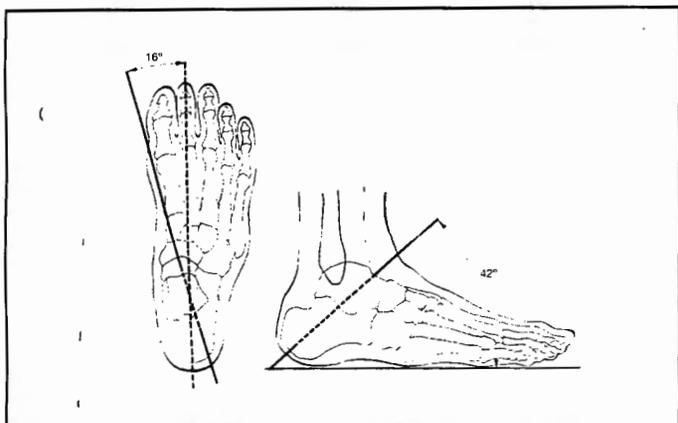


Eje de movimiento de la articulación del tobillo.

participación de los tres planos del espacio, así se forma un ángulo de  $42^\circ$  con el plano transverso y de  $16^\circ$  con el plano sagital.

La orientación de estos ejes origina un movimiento de desplazamiento de las articulaciones en los tres planos del espacio:

- La flexión plantar se produce junto a una supinación aducción, produciendo una inversión del pie.
- La flexión dorsal se combina con una abducción y pronación produciendo una eversión del pie.



Eje de movimiento de la articulación subastragalina.

El astrágalo y el calcáneo se mueven en direcciones opuestas. Cuando existe un valgo de calcáneo, éste se sitúa en flexión dorsal, pronación y abducción, y el astrágalo compensa dicha orientación colocándose en flexión plantar, supinación y aducción. En varo de talón el calcáneo está en posición de flexión plantar, supinación y aducción y el astrágalo se mueve en flexión dorsal, pronación y abducción.

Como queda demostrado con lo anteriormente dicho la función del SACP no realiza una flexión plantar pura, sino que se asocia este movimiento a la aducción y supinación del pie. Esto depende de la disposición de las carillas articulares y el punto de inserción del tendón de Aquiles. El calcáneo está en situado inferiormente respecto al astrágalo, y es éste quien recibe el movimiento realizado por el SACP.

### 3.2.3. El Sistema Calcáneo-Aquileo-Plantar en la marcha humana.

La marcha humana es un proceso en el cual el cuerpo humano, en posición erecta, se mueve hacia delante, siendo su peso soportado, alternativamente, por ambas piernas.

La marcha humana es una actividad de extrema complejidad. A pesar de estar integrada a un nivel involuntario no es una actividad innata, sino que es un proceso de aprendizaje que se desarrolla en los primeros meses de vida, y que se altera ante una inmovilización, intervención, accidente...

No existe un patrón fijo de la marcha humana ya que ésta puede sufrir numerosas modificaciones tanto externas (calzado, tipo de terreno, pendientes, cargas,...) como internas (edad, rotaciones de las EEII, disimetrías...).

Se considera un individuo occidental modelo con zapatos de ciudad y que se desplaza sobre una superficie plana y dura.

La masa del individuo se puede concentrar en un punto denominado centro de gravedad. Este punto se ve sometido a las traslaciones de las EEII, la gravedad, la inercia y la aceleración. El centro de gravedad no describe una trayectoria rectilínea, sino sinusoidal que exige ciertos intercambios de energía y conducen a un mayor gasto metabólico. Por ello el organismo ha desarrollado diferentes mecanismos que mejoran el rendimiento dinámico. Se producen transferencias de energía (conversiones de energía cinética y potencial, y transferencia de energía entre segmentos) y minimización del desplazamiento del centro de gravedad (rotación pélvica, flexión de rodilla, etc...).

El ciclo de la marcha es una secuencia de acontecimientos que tiene lugar entre dos repeticiones consecutivas de una cualquiera de las fases de la marcha. A pesar de que la marcha humana es un continuo, para posibilitar su estudio Inman la divide en:

- Choque de talón (0-15%)
- Apoyo total (15-40%)
- Despegue o propulsión (40-62%)
- Avance del miembro oscilante (62-100%).

En las fases de la marcha, anteriormente citadas, se produce una variación del centro de gravedad así como del polígono de sustentación. La proyección del centro de gravedad tiene que recaer sobre dicho polígono, sino se produce una pérdida de equilibrio.

#### 3.2.3.1. Fase de choque de talón.

El objetivo principal de esta fase es posicionar al pie correctamente al entrar en contacto contra el suelo. La cadera se encuentra en flexión, la rodilla en extensión y el tobillo realiza un movimiento de flexión plantar. Esta posición articular tienen como objetivo dar a la extremidad inferior que contacta con el suelo su máxima longitud.

En esta fase, la fuerza de reacción transcurre por el talón y posteriormente a la articulación tibio-peronea-astragalina dando un momento (tríceps y eje de movimiento) de Flexión plantar. Se produce de una manera muy rápida debido al escaso brazo de palanca existente. Este movimiento en flexión plantar se realiza mediante una progresión suave, debido al rodillo de talón, a tiempo que el peso del

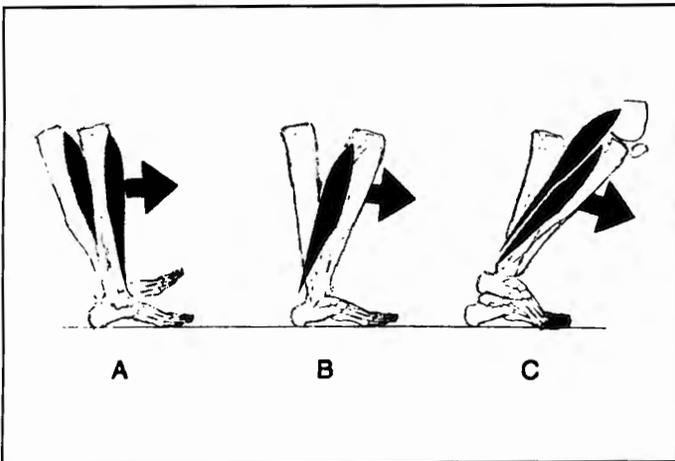
cuerpo se amortigua. Durante la fase inicial del apoyo, la masa corporal se decelera mediante el control de la flexión de rodilla (realizado por el cuádriceps) y por la flexión plantar del tobillo, controlado por la musculatura dorsiflexora mediante una contracción excéntrica.

La progresión del miembro se produce gracias al mecanismo del rodillo de talón, es decir, a un movimiento de rodadura del pie hacia abajo, apoyado en el talón que posibilita la caída del pie arrastrando la tibia hacia delante.

El SACP en esta fase permanece en reposo, es el periodo de recuperación de la actividad muscular del tríceps sural y de los flexores cortos, ya que si estuvieran actuando durante todas las fases de la marcha entrarían en fatiga. La flexión plantar se produce por la inercia del peso del cuerpo, que conforme el pie apoya en el suelo el SACP va entrando en funcionamiento dando paso a la fase de apoyo total.

### 3.2.3.2. Fase de apoyo total

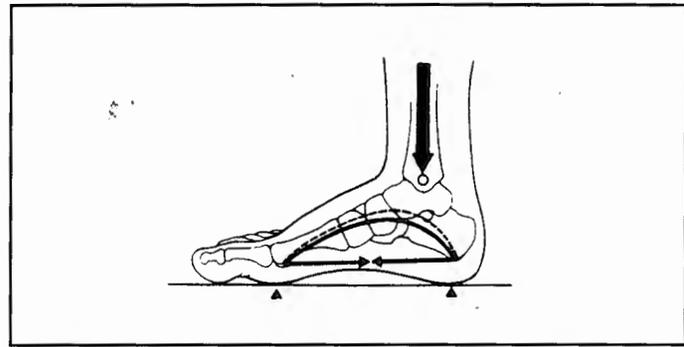
También se denomina como apoyo monopodal. El pie permanece fijo en el suelo, mientras que la extremidad soporta todo el peso del cuerpo a la vez que avanza sobre él.



*Acción del rodillo del talón, rodillo del tobillo y del rodillo del antepie.*

En el plano sagital el momento externo a nivel de tobillo en dorsiflexión debido al desplazamiento hacia delante de la fuerza de reacción que pasa a ser anterior a la rodilla y posterior a la cadera creando momentos extensores en ambas articulaciones. Debido a la acción ligamentosa en cadera (ligamento ileo-femoral) y rodilla (ligamentos cruzados). La actividad muscular extensora (Glúteo mayor, isquiotibiales, cuádriceps) entra en reposo. El SACP mediante el control de la posición de la fuerza de reacción estabiliza las tres articulaciones.

En carga, la bóveda plantar tiende a aplanarse mientras que el pie se elonga. De esta manera se tensa la aponeurosis plantar evitando el distanciamiento entre calcáneo y cabezas mtt. La aponeurosis plantar ayuda al mantenimiento de la bóveda junto a las musculaturas retromaleolares (peroneo lateral largo y tibial posterior) en dinámica. Al disminuir la bóveda los mtt adoptan una posición de ligera flexión dorsal con lo que las falanges proximales de los dedos realizan una flexión plantar, por el denominado efecto grúa descrito por Hicks en 1.954.



*Efecto grúa en apoyo total.*

### 3.2.3.3. Fase de despegue.

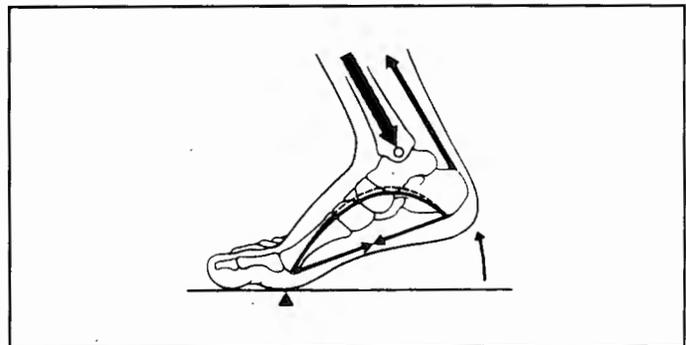
En esta fase se prepara al miembro para la oscilación; el miembro, que está colocado posteriormente, sufre una inclinación hacia delante, la cadera se extiende y la rodilla se flexiona. Se engloba en este apartado desde el comienzo del despegue del talón, hasta que el último dedo abandone el piso.

La acción del tríceps sural bloquea al tobillo, y debido al avance de la tibia sobre el astrágalo, se produce la elevación del talón convirtiéndose el antepie como único soporte del miembro. Este mecanismo se denomina rodillo de antepie.

Analizando esta situación observamos una fuerza de reacción en aumento y una caída del cuerpo hacia delante, proyectando el centro de gravedad por delante del punto de apoyo (antepie), creando así una palanca de 1.º género.

Progresivamente el avance de la fuerza de reacción y del centro de gravedad conduce a una situación inestable, siendo insuficientes las acciones musculares del miembro de referencia y solo estabilizando la situación el apoyo del miembro contralateral. Una vez producido el choque de talón del miembro contralateral el peso se transfiere hacia éste, disminuyendo la acción muscular del tríceps. La articulación del tobillo produce un rápido movimiento de flexión plantar de aproximadamente 20°, conjugándose ésta con un movimiento en extensión de las articulaciones MTF.

Durante el período de propulsión se produce el mecanismo de efecto grúa.



*Efecto grúa en la fase de despegue.*

Desarrolló este concepto cuando realizando una extensión pasiva de la falange proximal del primer dedo se

saba la fascia plantar e incrementaba la altura del arco longitudinal interno. Con esta hiperextensión, la aponeurosis plantar arrastra el calcáneo hacia delante y debido a la inserción proximal en el tubérculo medial del calcáneo coloca en supinación al retropie. Este efecto es más potente con la extensión del primer dedo debido a que la primera cabeza metatarsal actuaría de polea con un diámetro mayor.

En el despegue debido al rodillo de antepie, los dedos permanecen fijados y son extendidos pasivamente. Justo antes del despegue la falange proximal se distiende y la aponeurosis aumenta la tensión durante este ciclo de la marcha.

Al elevarse el arco y supinar el retropie, se contribuye a que el pie deje de tener una función de adaptación durante el contacto de talón para ser una palanca rígida más estable durante la propulsión.

#### 3.2.3.4. Fase oscilante.

Cuando se produce el despegue del antepie, que marca el comienzo de la fase, el tobillo presenta una flexión plantar de 20°. El pie se encuentra en suspensión, no existen fuerzas de reacción y las únicas fuerzas externas que actúan son el peso, la gravedad y las fuerzas de inercia.

Con el paso de la tibia por la vertical (movimiento producido por una extensión de rodilla y una flexión de cadera) el peso propio del pie ve aumentado su brazo de palanca e induce un momento de flexión plantar superior, que contrarrestan los dorsiflexores llevando al pie a una posición neutra (aunque en esta fase la actividad muscular registrada en el e.m.g. es mínima).

Hacia la parte final de esta fase se localiza un incremento de la actividad de la musculatura extensora que ocasiona una colocación neutra del pie y a su vez supone una preparación para la siguiente fase de la marcha.

Es necesaria la acción del cuádriceps para conseguir una extensión completa de la rodilla y una posición neutra del pie con respecto a la pierna para realizar el contacto efectivo de talón y comenzar el siguiente ciclo de la marcha.

## 4. EL SISTEMA AQUILEO-CALCANEOPANTAR EN EL...

Las alteraciones básicas que influyen en la marcha son la deformidad, la debilidad muscular, el dolor y las alteraciones neurológicas.

La **deformidad** aparece cuando los tejidos no permiten una movilidad pasiva suficiente que les permite alcanzar rangos de movimientos fisiológicos durante la marcha. La causa más frecuente es la contractura o retracción muscular. La contractura es un cambio (funcional o estructural) del tejido conectivo a consecuencia de una inmovilización prolongada o secuelas de una lesión (cicatrices retráctiles).

La **debilidad muscular** o elongaciones de origen a inserción, puede deberse a una atrofia muscular por desuso, lesiones neurológicas y a miopatías.

Las causas más frecuentes de las **alteraciones neurológicas** son parálisis cerebral, A.C.V., traumatismos cerebrales, lesión medular incompleta,... Estas patologías a nivel central o periférico ocasionan un control neurológico deficiente,

y pueden aparecer alteraciones básicas de intensidades y combinaciones variables, como la espasticidad, alteraciones de la coordinación, los patrones reflejos primitivos, lesiones de la propiocepción...

### 4.1. Pie equino.

#### 4.1.1. Análisis de las fases de la marcha.

En la primera fase de la marcha hay que distinguir dos situaciones:

Si el pie está en flexión dorsal y la rodilla en extensión el contacto inicial se produce con el talón, con el pie casi paralelo al suelo. El rodillo de talón está disminuido, ya que sólo tiene 10° aproximadamente de movimiento hasta que contacta todo el pie (en C.N. 25-30°). La flexión de rodilla también se verá disminuida.

- Si el pie está en flexión plantar y la rodilla en flexión (20°) el contacto inicial se realiza con el antepie. Se puede distinguir dos situaciones:

- Retracción elástica: el pie cae rápidamente y se produce un apoyo total al cargar el peso del cuerpo y la tibia permanece vertical.

- Retracción rígida: El pie puede permanecer en equino o la tibia puede adoptar una posición posterior, facilitando que el talón contacte con el suelo.

En la fase de apoyo total la progresión de la tibia está dificultada por la flexión plantar. Esto se traduce por una reducción de la longitud del paso de la E.I. contralateral y una disminución de la velocidad.

El paciente tiene que desplazar su centro de gravedad hacia delante sobre el pie equino, como mecanismo compensador de esta falta de progresión. Por ello se combinan la acción de estos tres mecanismos:

- Despegue precoz: disminuye la fase de apoyo total, según el grado de flexión plantar.

- Hiperextensión de la rodilla: con la suficiente hiperlaxitud ligamentosa, la rodilla se hiperextiende y el fémur sigue el impulso hacia delante del cuerpo, girando sobre la tibia inmóvil.

- Inclínación anterior del tronco y de la pelvis: mantiene el equilibrio en la fase plantígrada con el pie en flexión plantar.

El despegue no se ve afectado, ya que se requiere cierto grado de flexión plantar para efectuar la propulsión (en C.N. 10-20°).

En la fase oscilante con el pie en flexión plantar, los dedos se arrastran por el suelo. Para evitarlo, se produce una flexión de cadera, produciendo así una flexión de rodilla, y evita el contacto con el suelo. No es suficiente la flexión de rodilla porque aún produciría más flexión plantar.

Si no es posible la flexión de cadera, existen mecanismos de circunducción, inclinación lateral del tronco y elevación sobre el antepie de contralateral.

#### 4.1.2. Análisis del SACP.

La contractura más frecuente en flexión plantar es la

de 15° ya que coincide con la posición articular de menos tensión capsular. Esta contractura puede ser elástica o rígida.

En la contractura elástica de 15° el abordaje del pie en el suelo es inapropiado, pero el pie no cae de golpe. En la fase de apoyo total lo puede considerarse clínicamente normal, ya que el peso del cuerpo pone en una posición fisiológica y la tibia se adelanta normalmente. En la fase de oscilación, la fuerza extensora no es suficiente para evitar la flexión plantar.

En la contractura rígida de 15° se produce un apoyo completo del pie rápidamente y una falta de adelantamiento tibial; se consigue mayor progresión con una hiperextensión de rodilla.

La acción exagerada del tríceps espástico forma parte del patrón extensor primitivo. Al final de la oscilación, el cuádriceps extiende la rodilla y produce una activación sinérgica del soleo y de los gemelos. El pie pasa de una flexión dorsal en la oscilación a una contractura rígida en flexión plantar en el momento inmediatamente anterior al choque de talón.

## 4.2. Pie talo

### 4.2.1. Análisis de las fases de la marcha

En C.N. el pie contacta con el suelo en flexión dorsal. Generalmente crea inestabilidad. Se produce un aumento de rodillo de talón, con lo que la tibia se adelanta más; el cuádriceps tiene que frenar este desplazamiento anterior de la tibia.

En el apoyo total, la flexión dorsal excesiva se ve contrarrestada por una flexión de rodilla y la acción del cuádriceps.

La flexión de rodilla enmascara la flexión dorsal del pie en la fase de despegue.

La fase oscilante no se ve afectada.

### 4.2.2. Análisis del SACT.

La debilidad de tríceps produce una inestabilidad de la tibia en el periodo de apoyo total. Esta se adelanta sobre el pie, requiriendo la acción del cuádriceps y manteniendo la rodilla constantemente flexionada.

La debilidad del tríceps, así como su denervación nerviosa, impide el despegue debido a que se requiere una gran fuerza muscular.

## 4.3. Pie valgo.

### 4.3.1. Análisis de las fases de la marcha.

El choque de talón se puede producir a través de la superficie infero-medial en el valgo primario o de la superficie infero-lateral en el valgo secundario.

El valgo excesivo puede originar un apoyo completo del pie que comienza con el apoyo del primer metatarsiano. Con el avance del peso corporal, se produce un hundimiento del arco longitudinal interno ya que la eversión de la articulación subastragalina no bloquea la articulación de Chopart, permitiéndole doblarse en flexión dorsal. La cabeza del astrágalo y la tuberosidad del escafoides sobresalen por el lado interno.

En la fase inicial del despegue, debido a la tracción que ejerce el SACP se configura la bóveda plantar. El primer

dedo permanece en pronación y los demás en ráfaga, siendo los metatarsianos centrales la pieza más importante del soporte del pie. Con el propósito de aumentar la base de soporte se produce un apoyo de todo el antepie, aunque el centro de presiones aparece en la zona medial.

El despegue del pie, se produce por el primer dedo o centrales, que puede estar en pronación.

### 4.3.2. Análisis de SACP.

Más que un excesivo protagonismo de los músculos peroneos, el pie valgo guarda una estrecha relación con la debilidad de la musculatura inversora (tríceps como inversor por su inserción medial) del pie, que conduce a una posición del calcáneo valgó.

Una agravante a esta situación sería una hiperlaxitud de la aponeurosis plantar, incapaz de mantener en su posición la bóveda plantar.

## 4.4. Pie Varo

### 4.4.1. Análisis de las fases de la marcha

El varo de retropie se evidencia con una inclinación medial del calcáneo, según la línea de Helbing. En dinámica este tipo de pie se expresaría con un contacto de talón en el suelo con la superficie latero externa del talón.

El contacto completo del pie en el suelo se produce en supinación, suponiendo un aumento de presión en el borde externo. No se produce el movimiento helicoidal fisiológico en pronación.

Se mantiene en supinación hasta la primera fase del despegue, en donde las fuerzas se trasladan hacia el borde interno, produciéndose una caída brusca del primer segmento para realizar el despegue de los dedos.

El varo en la fase de oscilación no tiene ninguna trascendencia funcional, excepto que condiciona la postura del choque de talón con el suelo.

### 4.4.2. Análisis del SACP

Las alteraciones del soleo que favorecen la inversión exagerada:

- Debido a la inserción medial del tendón de Aquiles, una contracción prematura en la fase final de la oscilación, coloca el pie en varo y lo mantiene durante la fase de apoyo.

- Si se presenta el patrón primitivo extensor, se activará con mayor intensidad en la fase de apoyo total, impidiendo el movimiento helicoidal fisiológico del pie.

La aponeurosis y la musculatura plantar están acortada ligeramente por su parte medial (aproximación tubérculo medial primer metatarsiano) y distendida por su parte lateral.

## 4.5. Pie cavo.

### 4.5.1. Análisis de las fases de la marcha.

El comportamiento en dinámica del pie cavo depende en gran medida de la desviación del retropie (valgo, neu-

tro y varo) así como del tipo de pie cavo en el plano sagital (pie cavo anterior, pie cavo mixto y pie cavo posterior).

#### 4.5.2. Análisis del SACP.

El pie cavo posterior puede producirse a consecuencia de una parálisis del tríceps sural. El tendón de Aquiles no mantiene el calcáneo en una posición normal y éste bascula ascendiendo su parte anterior, dando la imagen radiológica de culata de pistola. La retracción de la aponeurosis plantar ocasiona y fija esta deformidad.

Si el tendón de Aquiles está inervado correctamente y existe retracción de la aponeurosis plantar, se produce el pie cavo anterior.

El pie cavo se suele asociar con los dedos en garra ocasionado por la verticalización de los metatarsianos y la tracción de la aponeurosis plantar (relacionado con el efecto grúa).

#### 4.6. Pie plano.

##### 4.6.1. Análisis de las fases de la marcha.

Variará según la desviación del retropie en valgo, neutro o varo, aunque muy frecuentemente se asocia con un valgo de retropie.

##### 4.6.2. Análisis del SACP.

La retracción del tendón de Aquiles origina una horizontalización del calcáneo, aprisionando al astrágalo entre la mortaja tibio-peroneo-astragalina y el calcáneo. Así lo fija hacia abajo, delante y adentro.

Si la causa de la retracción es una parálisis espástica del tendón de Aquiles se colocará el pie plano en equino y con los dedos en garra. Otra causa de la retracción es el uso de calzado con un tacón inadecuado, más de cuatro centímetros. El uso repetitivo de este tacón puede finalizar con la retracción del tendón de Aquiles.

La aponeurosis y musculatura plantar está distendida ya que se alejan pilar anterior y pilar posterior.

### 5. EXPLORACION CLINICA.

El pie forma parte de una unidad motora como es la E.E.I.I. y aparato locomotor, por ello es básico comprobar que no existe lesión en el resto de la unidad motora en que forma parte.

La exploración se debe hacer pautada tomando como referencia unos principios básicos:

- Posición del paciente. Sea cual sea esta posición, el paciente debe estar lo más relajado posible, con el objetivo de realizar las maniobras y buscar el posicionamiento adecuado en función del sentido de la exploración.

- Mano exploratoria o activa, que se deslizará de forma suave pero firme, intentando localizar el punto álgico.

- Mano estabilizadora o pasiva, se situará proximalmente en referencia a la sintomatología que presenta el paciente.

### 5. 1. Anamnesis.

Por medio de la anamnesis el paciente nos referirá el motivo de su consulta, que principalmente será dolor o deformidad... Una anamnesis bien elaborada facilita realizar una buena exploración clínica del proceso en cuestión.

No hay que conformarse únicamente con los datos que nos refiera el paciente, sino que hay que interrogar desde cuándo y si lo atribuye a algún motivo. Según el tipo de dolor (sordo, pinchazos, quemazón, pulsátil...) la periodicidad del dolor (relacionado con la hora del día, estaciones del año...), cuando experimenta mejoría (al descalzarse, al parar la actividad...), cambios en la zona (tumefacción, limitación de movimientos...).

### 5.2. Exploración en sedestación.

Se realizará una palpación de los vientres musculares, con el pie en flexión plantar, de los gemelos (rodilla en extensión) y del soleo (con rodilla flexionada); palpación del tendón del Aquiles y su inserción en el calcáneo; polo posterior del calcáneo; inserción de la fascia plantar y musculatura corta plantar en el cuadrante antero interno el talón; Palpación de la inserción distal de la fascia, especialmente en el primer radio; palpación de la fascia con el pie en flexión dorsal (tensada) y en flexión plantar (relajada).

### 5.3. Exploración en bipedestación.

En el examen posterior del pie, observamos el ángulo que forma el talón con el resto de la pierna; nos referimos a la línea empírica de Helbing, la cual procedente del hueso poplíteo debe pasar por el centro del talón, a pesar de esto, unos grados de valguismo (5°) estarían dentro de los límites fisiológicos. Si el paciente adopta una posición en digitopulsión, la línea de Helbing se posicionará en varo, debido a la inserción medial del tendón, a la dorsiflexión de los dedos y a la fórmula metatarsal que presente el paciente (insuficiencia de primero, cuarto y quinto radio...).

Uno de los objetivos de la exploración clínica, será conocer la potencia del músculo tríceps. Colocado el paciente en estática, se le indica que eleve los talones durante unos instantes. Para valorar la potencia muscular del músculo soleo, le indicaremos que adopte una posición de cuclillas. En ambos casos si los músculos están debilitados o no funcionales, dichos ejercicios resultan dificultosos o imposibles de realizar.

### 6. EXPLORACION COMPLEMENTARIA.

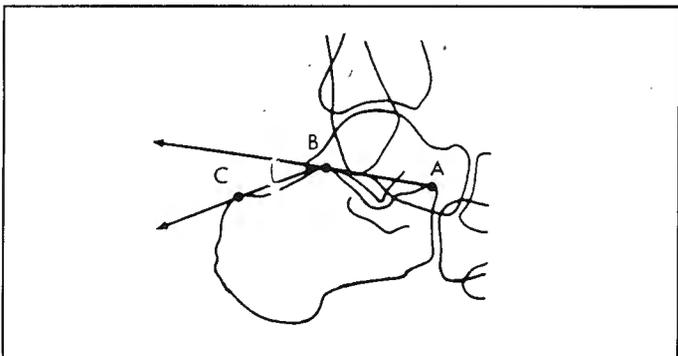
#### 6.1. Exploración Radiológica.

Técnica que consiste en la emisión de fotones, por parte de una fuente, que posteriormente traspasan la zona del cuerpo que deseamos explorar e impresionan la película radiográfica.

Al realizar la exploración, hay que tener en cuenta que toda variación en la incidencia del rayo modifica profundamente la silueta del hueso.

La proyección más interesante para el estudio de nuestro sistema es la radiografía de perfil del tarso posterior

(se obtiene generalmente un perfil externo). Dicha exploración se realiza colocando al sujeto en bipedestación o en decúbito donde la zona externa del pie contacta con el chasis. El haz de Rx. se centraría exactamente bajo el punto maleolar interno. En esta proyección podemos trazar el ángulo de la tuberosidad posterior-superficie articular de Boehler, que mediría el hundimiento de las fracturas taláricas. Se define por dos rectas:



Angulo de Boehler.

- Recta tangente al borde superior de la tuberosidad mayor (C).
- Recta que une la cúpula del talamo al punto más elevado de la apófisis mayor (A-B).

Forman un ángulo abierto hacia atrás que en condiciones de normalidad oscila entre 25°-40°. El hundimiento talámico ocurre cuando este ángulo es inferior a 20°.

La proyección retrotibial, el enfermo está en decúbito supino, con un ángulo de pie-pierna de 90°. El talón contacta en la placa horizontal con una incidencia caudo craneal del rayo a 30°. Esta proyección permite explorar la parte posterior de calcáneo.

Las radiografías óseas requieren una corta escala de contraste para aportar la máxima visualización de detalles. El periostio, el córtex y las trabéculas deben estar bien diferenciadas para detectar los cambios, a menudo sutiles, de las fracturas, la desmineralización y, la destrucción ósea.

### 6.2. Exploración Ecográfica.

Se basa en el registro del eco de los ultrasonidos reflejados por las estructuras anatómicas normales o alteradas.

Si bien en un principio los estudios ecográficos poco o nada aportaban, el descubrimiento de los transductores de alta frecuencia ha permitido ver estructuras muy superficiales.

Las masas, quistes, abscesos, hematomas... pueden ser estudiados para determinar su tamaño, localización y textura.

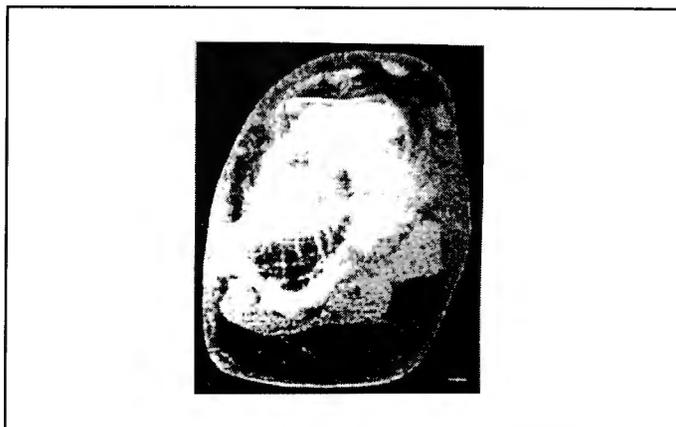
En la ecografía, los músculos tienen una textura homogénea con ecos de bajo nivel. Los planos aponeuróticos son líneas finas.

El hueso refleja el haz ultrasónico, sus bordes muestran una forma ecogénica muy intensa con ausencia de

ecos en su interior, no siendo útil como medida diagnóstica, salvo para valorar su superficie.

### 6.3. Tomografía Axial Computerizada.

Nos ofrece la posibilidad de dar imágenes exactas de anomalías muy pequeñas, tanto de estructuras óseas como de partes blandas. Con la tomografía se obtienen cortes en los planos transversal y sagital, que ofrecen imágenes en una escala de grises suministrando información de dichas estructuras.

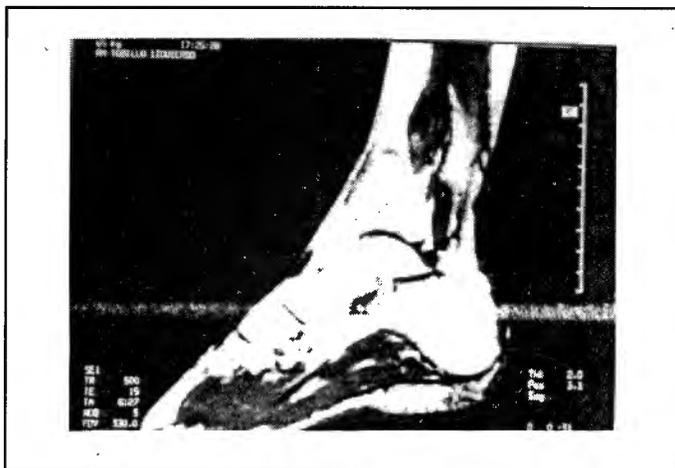


TAC de la articulación subastragalina.

Al igual que la radiología convencional, la tomografía posibilita la visualización de fracturas que afectan a partes óseas, pero además, ofrece la posibilidad de descubrir TAC de la articulación subastragalina pequeñas fisuras en cortes propicios que pasarían inadvertidos de otra manera.

### 6.4. Resonancia Magnética Nuclear.

Utiliza señales de radiofrecuencia emitidas por los núcleos atómicos del organismo sometidos a un campo magnético.



RMN en corte lateral del pie.

Informa de lo que ocurre a nivel molecular orientando sobre la morfología y la función del segmento estudiado.

La utilidad de la resonancia se basa en la capacidad de detectar lesiones infiltrantes en fases precoces de las patologías (incluso antes de que esté afectado el hueso trabecular), así como problemas asociados (extensión a tejidos blandos,...).

Debe existir una pérdida importante de calcio para que sea detectable por la resonancia.

En la resonancia, los tendones se observan como estructuras en forma de banda en cortes sagitales y coroneales; y con morfología redondeada en los cortes axiales, mostrando una señal hipointensa y homogénea en todas las frecuencias y con contorno liso y regular.

Unos de los principales inconvenientes de esta técnica son su elevado coste y la duración de la exploración, por lo que se prefiere el estudio ecográfico.

## 7. PATOLOGIA.

### 7.1. Enfermedad de Sever.

También se denomina talalgia posterior de crecimiento, talalgia de Sever, epifisitis posterior de calcáneo, apofisitis posterior de calcáneo, osteocondritis aséptica posterior del calcáneo.

La enfermedad de Sever es una patología benigna inflamatoria de la apófisis posterior del calcáneo, durante la osificación de su núcleo secundario, que sucede entre los 6-12 años y es más frecuente en varones (5:1).

La etiopatogenia del proceso puede deberse principalmente a:

-> microtraumatismos repetitivos por una actividad física intensa.

-> Excesiva tensión del SACP (distracciones). En período de crecimiento, el tejido blando debe adaptarse al crecimiento del tejido óseo (anterior cronológicamente). Lo que ocasiona una tracción del tríceps; el niño andará ligeramente en puntillas, así como la tracción continua del tríceps ocasionará la inflamación del núcleo secundario de osificación.

Anatomopatológicamente se observa un edema moderado perizonal muy discreto. Hay una hiperemia con un aumento de leucocitos a consecuencia de la inflamación.

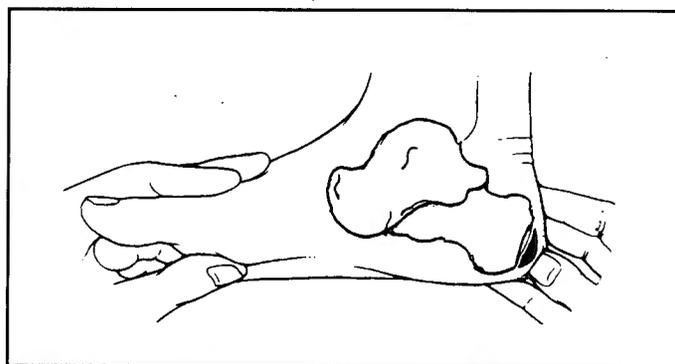
Ocasionalmente microrrupturas fibrilares por la tensión.

Clínicamente aparece dolor de baja intensidad unilateralmente, después de una actividad física. Presenta dolor al pinzar o golpear la parte posterior del talón.

En la radiografía de perfil en carga la línea epifisaria aparece borrosa y de aspecto irregular, mientras que la epífisis se presenta fragmentada y con mayor densidad.

Existen diferentes tratamientos, destacando:

- Reposo relativo.
- Soportes plantares para relajar la tensión del SACP.
- Farmacológico con AINEs.
- Taloneras dentro del calzado,



Palpación polo posterior de calcáneo.

- Quirúrgico: Alargamiento con zetaplastia del tendón de Aquiles.

Aponeurosectomía.

El pronóstico es completamente benigno.

### 7.2. Espolón de calcáneo-fascitis.

Son espículas óseas localizadas generalmente en la tuberosidad interna del calcáneo. Otras nomenclaturas utilizadas para referirnos a esta patología son: exóstosis plantar de calcáneo y exóstosis de talón.

Se forman microtraumatismos crónicos por tensión continua del SACP, que ocasiona una inflamación y consecuentemente una hiperemia (causa descalcificación del hueso), produciéndose una fascitis al principio, que al cronificarse ocasiona el espolón al depositarse las sales de calcio en el tejido de granulación. Otras etiologías menos frecuentes son:

- Enfermedad exostósica (ostecondritis genética).
- Artritis reumatoidea.

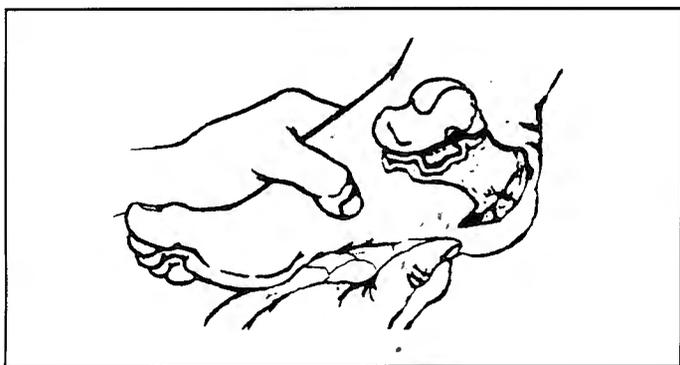
Pueden ser de diferentes formas sin que ello tenga que ver con su sintomatología. Esto es consecuencia ya que se trata de una calcificación de la inserción de la aponeurosis y de la musculatura corta plantar y, como tal, en sí misma es indolora, las algidas son consecuencia de un proceso concomitante (alteración de la biomecánica, proceso reumático...) y no al espolón.

El paciente de edad mediana o madura, que someten sus pies a largos períodos de deambulación o bipedestación estática, refieren dolor muy intenso en la cara plantar del calcáneo, sobre todo en el momento de colocar el pie en el suelo por primera vez en el día, realizando una marcha antiálgica (apoyando el borde externo). Con el reposo el dolor disminuye. Existe una zona especialmente sensible en el tubérculo plantar interno del calcáneo.

La patología suele manifestarse clínicamente en un solo pie, pero frecuentemente encontramos espolones en ambos pies (desconociéndose la causa). La enfermedad cursa con grandes períodos de silencio con otros de manifestación.

En la radiografía de perfil se aprecia una imagen en espina de rosal uni-bilateral de tamaño muy variable. En

ocasiones es un hallazgo casual ya que cursa sin manifestación clínica.



*Palpación del espolón.*

El tratamiento conservador consistiría en combinar:

- Reposo (que puede ser absoluto en fases agudas).
- Aumentar la altura de tacón y colocar un soporte plantar cuya función sea disminuir la tensión de la aponeurosis plantar corrigiendo la alteración biomecánica, si es que ésta existe.
- Infiltraciones locales con corticoides.
- Aplicación de ultrasonidos.

El tratamiento quirúrgico consistiría en:

- Exostosectomía.
- Aponeurosectomía.
- Alargamiento del Tendón de Aquiles.

### 7.3. Exóstosis de Haglund.

Es una exóstosis postero-superior del calcáneo. Propiamente no es una enfermedad, sino una variante en la morfología del calcáneo (éste suele ser alto y puntiagudo) que en determinadas ocasiones produce dolor. Frecuentemente aparece en jóvenes del sexo femenino a consecuencia de un calzado con exceso de tacón lo que ocasiona que el contrafuerte del zapato comprima partes blandas.

En la exploración clínica podemos observar una tumoración, generalmente dolorosa, indurada (a consecuencia de la fibrosis interna) en la cara posterior del calcáneo.

La clínica se ve confirmada con la aparición de la exóstosis posterior en la imagen radiológica.

El tratamiento conservador va encaminado a evitar el roce, como puede ser la confección de taloneras, cambio en el hábito del calzado, descargas provisionales, etc.

El tratamiento quirúrgico consiste en la resección de la exóstosis, que por lo general suele ofrecer buenos resultados.

### 7.4. Ruptura del tendón de Aquiles.

Solución de continuidad parcial o total de las fibras del tendón de Aquiles. Suele romperse 2-3 cm. por encima de su inserción calcánea, correspondiendo con la zona de menos irrigación sanguínea.

Se relaciona con la persona adulta deportista, por una flexión dorsal brusca. En ocasiones aparece en un anciano, con reumatismo crónico, sífilis...

El ángulo postero-externo del calcáneo traumatiza el tendón en flexión dorsal. En flexión plantar, el tendón roza con el contrafuerte del zapato. Se produce un cizallamiento y una tendinitis de inserción (aquileítis).

Anatomopatológicamente se observa una degeneración edematosa con desintegración de las fibras de colágena, hay tejido fibroso entre las fibras de colágena.

El paciente refiere un dolor vivo, en ocasiones se escucha un crujido. Se produce un hematoma en la zona. La flexión plantar es imposible realizar en carga. En la parte central del tendón hace prominencia y asciende por la parte posterior de la pierna. En la palpación, el dedo se hunde entre los dos cabos produciendo mucho dolor. Mediante la ecografía podemos estudiar perfectamente el tendón de Aquiles, por su situación y tamaño es muy bien abordado, pudiendo encontrarse desgarros parciales-completos (observándose una solución de continuidad) o las roturas (observándose una solución de continuidad con bordes irregulares y bruscos).

El tratamiento, en caso de rupturas parciales, es suficiente con una botina de yeso o un alargamiento quirúrgico del tendón. En caso de ser una ruptura completa se necesita intervención quirúrgica para unir los cabos del tendón.

El pronóstico es bueno con una posterior rehabilitación funcional.

### 7.5. Enfermedad de Ledderhose.

También conocida como aponeurosis plantar. Se define como una esclerosis plantar superficial con presencia de nódulos fibrosos.

Aparecen nódulos, al principio pequeños, y al evolucionar la piel se adhiere a éstos. Histológicamente está formado por fibras conjuntivas, con pocas fibras elásticas. También hay fibroblastos y linfocitos (reacción inflamatoria).

Dentro de las causas destacamos las llamadas formas quirúrgicas, por un vendaje de yeso defectuoso o bien de una ruptura aponeurótica. Se debate si es enfermedad de Ledderhose o una manifestación algodistrofia refleja. Las llamadas formas médicas: en lesiones neurológicas, en ocasiones tras un proceso viral.

En ocasiones se asocia a individuos jóvenes a la enfermedad de Dupuytren, otros autores lo asocian a la hipocalcemia e insuficiencia paratiroidea.

Clínicamente el paciente acude a la consulta por presentar nódulos plantares aparecidas hace meses o años. Al aumentar el volumen han provocado sensación de cuerpo extraño, o compresión nerviosa (menos frecuente).

Los nódulos son duros y fibrosos, de tamaño variable, y en principios no adheridos a la piel, Engrosamiento de la aponeurosis plantar en borde interno. El diagnóstico se realiza mediante la clínica y la ecografía; hay que diferenciar esta patología de los tofos gotosos, lipomas y fibrosarcoma de la planta.

El tratamiento será quirúrgico consistente en extirpar los nódulos molestos.

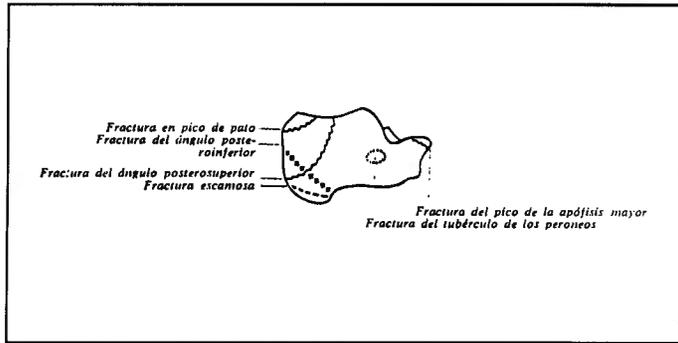
## 7.6. Fractura del calcáneo.

Funcionalmente se dividen en:

- Si lesiona el sistema transmisor de presiones (trabecular), se denominan talámicas y subtalámicas.
- Si respetan la integridad del apoyo se denominan extratalámicas.

### Fracturas extratalámicas.

Su etiología reside en la excesiva tracción del tendón de Aquiles o musculatura corta plantar. Tienen buen pronóstico y un tratamiento simple.



Fracturas extratalámicas.

#### a) Fracturas del ángulo superior.

Si el fragmento es pequeño, se denomina fractura en pico de pato de Boehler. El tendón de Aquiles moviliza el fragmento y lo desplaza hacia arriba y atrás, pero no es responsable del arrancamiento óseo.

El tratamiento consiste en la reducción mediante una botina de yeso, fijando el pie en equinismo a 15°; o extirpación quirúrgica del fragmento,

Si el ángulo postero-superior está afectado totalmente, se trata de un arrancamiento del tendón de Aquiles o de un cizallamiento por el borde posterior del calcáneo.

Provoca impotencia funcional. La retracción del tendón puede impedir que los fragmentos se mantengan en contacto.

El tratamiento es realizar una osteosíntesis mediante un tornillo.

#### b) Fracturas del ángulo póstero-inferior.

La dirección de la línea de fractura sigue el sistema trabecular plantar. La fractura comienza en la inserción del tendón de Aquiles y acaba en las tuberosidades plantares.

Es poco frecuente y se debe a la brusca tracción de los músculos y ligamentos plantares.

El tratamiento igualmente consiste en la osteosíntesis mediante tornillo.

En pacientes jóvenes, el desprendimiento epifisario. Hay que realizar diagnóstico diferencial con Sever,

#### c) Fractura escamosa.

Se fracturan las dos tuberosidades, más frecuente la interna. Los músculos cortos plantares desplazan el fragmento hacia delante.

El tratamiento es aplicar una botina de yeso, y en caso de provocar talalgias rebeldes se extirpa. Este tipo de fracturas produce la pérdida de la transmisión de fuerzas del sistema.

### Fracturas talámicas y yuxtalámicas.

Son consecuencia de una caída desde una gran altura, produciéndose primero una fractura lineal debido al cizallamiento. Una fuerza antero-interna dirigida hacia abajo (es el peso del cuerpo, que lo transmite la cabeza del astrágalo y se aplica sobre el tálamo) y otra fuerza postero-externa dirigida de abajo arriba, la resistencia del suelo sobre la tuberosidad mayor. Si el golpe es muy violento, el fragmento externo sufre el choque directo del astrágalo y se produce un hundimiento talámico. Son frecuentes, graves y difíciles de reducir. Las líneas de fractura pueden ser transversales, sagitales, verticales, horizontales, oblicuas, concéntricas...

a) Fracturas pretalámicas, la línea de fractura sigue el seno del tarso, afectando al sustentaculum tali y carilla antero-interna de la articulación subastragalina.

b) Fracturas transtalámicas, la línea de fractura divide el tálamo, es oblicua hacia arriba, delante y afuera.

c) Fracturas retrotalámicas, es menos oblicua, y no hay hundimiento talámico.

d) Hundimiento horizontal, el fragmento de hueso hundido está en la superficie articular talámica.

e) Hundimiento cortical, la zona hundida es más grande no solo la superficie articular postero-externa, sino también la cortical superior de la tuberosidad mayor y el fragmento de la cortical externa.

El pronóstico de las fracturas del calcáneo viene determinado por el grado de afectación de la articulación subastragalina, éste es desfavorable en caso de hundimiento.

El diagnóstico se realiza en base a:

- Antecedentes de caída brusca.
- Dolor al apoyo talámico, con claudicación en la marcha.
- Si hay afectación de la articulación subastragalina hay dolor a la prono-supinación.
- Aparece equimosis cuya localización puede ser:
  - plantar de Mondor (cara inferior de la bóveda).
  - digitoplar en lengüeta: en aponeurosis.

Dependiendo de la altura de caída, deberemos descartar fractura asociada de otras zonas de las E.E.I.I., tronco o cabeza.

Radiológicamente podemos realizar dos proyecciones, una lateral donde mediremos el ángulo de Boehler. En la radiografía retrotibial demuestra la línea de fractura lineal inicial, y la separación entre astrágalo y fragmento impactado. La fractura también puede detectarse mediante el TAC, en el que veremos pequeñas fisuras que pasarán desapercibidas con la técnica radiológica.

Dependiendo del tipo de fractura, se estudiará la posibilidad de una reducción quirúrgica, combinada con una reeducación funcional.

## 8. CONCLUSIONES.

El SACP es un conjunto de estructuras que se asocian para realizar la flexión plantar del pie. Hay que tener un conocimiento de las peculiaridades anatómicas que capacitan al sistema para desarrollar su función. Así, la inserción del tendón de Aquiles, se continua con las rabéculas del sistema Aquileo del calcáneo y éstas con la aponeurosis plantar, formada por los músculos aductor y flexor corto de los dedos, cuya inserción distal se localiza en la base de la falange de los dedos.

Para aumentar la función del tríceps, el calcáneo actúa como una verdadera polea, ya que la fuerza muscular se aplica en el punto de convergencia del tendón y no en su lugar de inserción del calcáneo.

Debido a la disposición de las carillas articulares de la articulación subastragalina, del punto de inserción del tendón de Aquiles, el SACP no realiza una flexión plantar pura, sino que va acompañado de una aducción y supinación del pie.

El SACP actúa en dinámica en la fase de despegue

como una palanca de primer género, de manera que su punto de apoyo (art. MTF.) está entre el punto de aplicación de la potencia y el punto de aplicación de la resistencia (centro de gravedad).

No existe un "pie normal", dependiendo del comportamiento funcional y de la estructura que presente un determinado pie, el SACP adoptará algunas características propias.

Una buena exploración clínica, tanto del sistema como del individuo globalmente, facilita el descubrimiento de cualquier alteración del SACP. No hemos de olvidar las pruebas complementarias que confirman nuestra sospecha diagnóstica.

Se puede dividir la patología del SACP según:

- Si existe una excesiva tracción del SACP en alguna de sus partes, según la biomecánica y edad del paciente, se ocasiona una reacción inflamatoria que cursa con frecuencia con dolor.

- Si existe una ruptura total o parcial, de algunos de los componentes, puede haber una disminución o incapacidad funcional.

## BIBLIOGRAFIA

- BUSQUET L.: *Las cadenas musculares*, Tomo 1, Ed. Paidotribo. Barcelona.
- DICCIONARIO MÉDICO.: 3.ª edición, Ed Teide Barcelona 1994.
- DUCROQUET R.: *Marcha normal y patológica*. Ed. Toray-Masson S.A. Barcelona 1972.
- FERNANDEZ LLANOS, L.; NUÑEZ SAMPER MARIANO: *Biomecánica, medicina y cirugía del pie*. Ed. Masson. Barcelona 1997.
- MARTINEZ LORENZO, A.; HERNANDEZ NEIRA, J.L.: *Física de C.O.U.* Ed. Bruño. Sant Adriá de Besós, 1990.
- GILI PLANAS J.; CAPDEVILA CIRERA, A.: *Resonancia Magnética*. Ed. Centre diagnostic. Pedrálbes. Barcelona 1992.
- HAAGA, J.; LENZIERI, C.: *Tomografía axial computerizada y resonancia magnética. Diagnóstico por imagen corporal total*. Vol. II. - 3.ª Edición. Ed. Mosby. Madrid 1996.
- KAPANDJI I.A.: *Cuadernos de fisiología articular*. Tomo II. 4.ª edición. Ed. Masson. Barcelona 1996.
- LAPIERRE A.: *La reeducación física*. Tomo I, 6.ª edición. Ed. CIE Dossat 2.000 Madrid 1996.
- LELIEVRE J.: *Patología del pie* 4.ª edición. Ed. Masson. Barcelona 1992.
- PLAS F.; VIEL E.; BLANC Y.: *La Marcha humana Cinesiología dinámica, biomecánica y patomecánica*. Ed. Masson S.A. Barcelona 1984.
- ROMANES G.J.: *Cunningham. Tratado de Anatomía*. 12.ª edición. Ed. Interamericana Mc. Graw-Hill. Madrid 1987.
- RONALD L.; CYNTHIA A.: *Radiología patológica*. Ed. Mosby-Tear book. Barcelona 1992.
- ROUVIÉRE. *Compendio de Anatomía y disección*. Ed. Masson-Salvat Medicina. Barcelona 1976.
- SANCHEZ LACUESTA, J.; PRAT, J.: *Biomecánica de la marcha normal y patológica*. Instituto Biomecánico de Valencia. Valencia, 1986.
- VERA P.; HOYOS J.V.: *Biomecánica del Aparato Locomotor*. Instituto Biomecánico de Valencia. Valencia 1985.
- VILADOT PERICÉ A.: *Quince lecciones sobre patología del pie*. Ed. Toray S.A. Barcelona 1989.
- WILLIAMS & WARWICK. *Gray Anatomía*. Tomo I Ed Churchill Livingstone. Madrid 1.992.
- ARANDES R.; VILADOT A.: *Biomecánica del calcáneo* Rev. Med. Esp. Tomo XXI Núm. 1, pag 25-33. 1.953.
- OGALLA RODRÍGUEZ J.M.: *Técnica ecográfica de partes blandas aplicada a la Podología*. Rev. Nac. Podología. Epoca II. N.º 1
- OLLER ASENSIO A.: *Talgias-fascitis-sesamoiditis*. Rev. El Peu n.º 64 - 1.996
- PONTIOUS J.; FLANIGAN P.: *Función de la fascia plantar en la estabilización digital. Un caso clínico*. Rev. El Peu n.º 69 - 1.997
- PUENTES ZAMORA Y.: *Biomecánica de las lesiones del tendón de Aquiles durante la práctica del deporte*.
- REYES JESÚS, M.: *Alteración de la palanca y la bóveda*. Rev. Nac. Podología. Epoca II - N.º 6, 1991.

## APUNTES:

- ALBIOL FERRER. J.M.: *Apuntes de Podología General I y Podología General II*. Curso 1996-1997,
- SERRA I.: *Apuntes de Anatomía Humana*. Curso 1.995-1.996.
- VILADOT PERICÉ A.: *Apuntes de Mecánica articular*. Curso 1.996-1.997.
- DORCA COLL A.: *Apuntes de Tratamientos Ortopodológicos I*. Curso 1996-1997