

# Bases Biomecánicas del Tobillo

Sous Sánchez, José O.; Navarro Navarro, R.; Navarro García, R.; Brito Ojeda, E.; Ruiz Caballero, J.A.

## Resumen

El tobillo es una articulación primordial en el apoyo del pie en el suelo y en consecuencia en la marcha. Se trata, por tanto, de una estructura móvil pero que también requiere gran estabilidad. En este artículo se realiza una puesta al día de la biomecánica y la estabilidad del tobillo

## Bases Biomecánicas del tobillo

La articulación del tobillo es muy singular y no admite comparación con el resto de articulaciones del miembro inferior. Tanto es así, que algunos autores la consideran la “reina” de las articulaciones del pie.

No encontramos ante una articulación de gran congruencia pero con una fina capa de cartílago. El grosor medio del cartílago articular del tobillo es de unos 1,6 mm, en comparación con los 6-8 mm de la rodilla (Monteagudo y Villardefrancos, 2007; Shepeherd y Seedhom, 1999).

Esta articulación soporta mucha más carga que ninguna otra en el cuerpo humano: 5-7 veces el peso corporal en la fase final del ciclo de marcha, comparado con las 3-4 veces en la rodilla y 2-3 en la cadera (Monteagudo y Villardefrancos, 2007). La extensión de la superficie articular del tobillo es similar a la de la rodilla y la cadera, pero la superficie de contacto durante la carga es sólo de un tercio de la superficie de carga de la rodilla o de la cadera (350mm<sup>2</sup> frente a 1.100mm<sup>2</sup>) (Kimikuza et al., 1980).

La movilidad primaria de la articulación del tobillo se desarrolla en el plano sagital. El arco o rango de flexo-extensión medio es de 43°-63°, y sólo 30° de este arco son necesarios para una marcha estable

(10° de flexión dorsal y 20° de flexión plantar). La rotación del astrágalo dentro de la mortaja del tobillo (10° de promedio) también debe considerarse importante para la comprensión de la biomecánica articular. La presencia de esta rotación convierte el tobillo en una articulación biplanar (Monteagudo y Villardefrancos, 2007).

El pie y sus articulaciones permiten la transmisión progresiva de las cargas desde el retropié hacia el antepié, con un mínimo gasto energético. La movilidad de la articulación del tobillo en el plano sagital juega un papel fundamental en la comprensión de la marcha. Durante el segundo rocker o rodillo del ciclo de marcha, la articulación del tobillo permite la transferencia eficaz de la carga del peso corporal hacia el antepié. Si existe una limitación de la movilidad del tobillo por una artrosis o por una artrodesis, se elimina el segundo rocker. Si la posición del tobillo en el plano sagital es neutra, el retropié y el antepié pueden compensar en gran medida la pérdida del segundo rocker. Cuando el talón contacta con el suelo, la articulación de Chopart realiza una flexión plantar para facilitar el contacto del antepié con el suelo. Durante la fase de apoyo intermedio, el talón se eleva antes y la carga se transfiere con mayor rapidez hacia el antepié, pero todo ello a costa de un mayor trabajo de carga de las articulaciones del mediopié.

Aunque antiguamente se considera al tobillo con una simple articulación en bisagra, muchos estudios han mostrado claramente que la biomecánica del tobillo es bastante compleja (Griend et al., 1996). Es esencial una buena comprensión de la anatomía y biomecánica del tobillo antes de poder valorar y tratar las lesiones que afectan a esta articulación.

## 1. Biomecánica del complejo articular periastragalino

El tobillo y el pie constituyen una unidad ontogénica, morfofuncional y clínica, que es preciso considerar integrada en la cadena cinemática del miembro inferior, de la cual constituyen el eslabón distal. Este hecho exige una suerte de “superestructura” que, englobando diferentes unidades articulares y formaciones hísticas, proporciona al pie posibilidades no ya de resistencia y flexibilidad, sino, muy especialmente, de suplencia. Esta “superestructura” existe y es el complejo articular periastragalino, que engloba las articulaciones tibioperoneoastragalina, mediotarsiana y tarsometatarsiana (Angulo y Llanos, 1993).

En realidad, la tibiotarsiana es la articulación más importante de todo el complejo articular del retropié. Este conjunto de articulaciones, con la ayuda de la rotación axial de la rodilla, tiene las mismas funciones que una sola articulación de tres grados de libertad, que permite orientar la bóveda plantar en todas las direcciones para que se adapte a los accidentes del terreno. Según Kapandji (1998), los tres ejes principales de este complejo articular se interrumpen aproximadamente en el retropié. Cuando el pie está en una posición de referencia, estos tres ejes son perpendiculares entre sí: (fig. 3.1)

- El eje transversal pasa por los dos maléolos y corresponde al eje de la articulación tibiotarsiana. Grosso modo, está incluido en el plano frontal y condiciona los movimientos de flexoextensión del pie, que se realizan en el plano sagital.
- El eje longitudinal de la pierna es vertical y condiciona los mo-

vimientos de aducción-abducción del pie, que se efectúan en el plano transversal y que son factibles con la rotación axial de la rodilla flexionada. En menor medida, estos movimientos se localizan en las articulaciones posteriores del tarso, aunque siempre estarán combinados con movimientos en torno al tercer eje.

- c) El eje longitudinal del pie es horizontal y pertenece al plano sagital. Condiciona la orientación de la planta del pie de forma que le permite “mirar” ya sea directamente hacia abajo, hacia fuera o hacia dentro. Por analogía con el miembro superior, estos movimientos reciben el nombre de pronación y supinación.

El complejo articular periastragalino existe tanto estructural como funcionalmente, pero sobre todo responde a la necesidad formal de dar solución mecánica a un diseño concebido para asumir muy distintas exigencias en situaciones de carga y de descarga. En este sentido, y a partir del concepto de unidad del tobillo y pie, entendemos que aquellas alteraciones o trastornos que afectan alguno de sus componentes terminan por dañar indefectiblemente todo el conjunto, hecho éste, tanto más cierto cuanto más proximal sea la lesión (Llanos, 1997).

### 1.1. Biomecánica de la articulación tibioperoneoastragalina

La articulación tibioperoneoas-tragalina (ATPA) se configura anatómica y funcionalmente de manera que su componente distal, el astrágalo, se moviliza por intermedio de su cara superior (en forma de polea o tróclea) en el interior de un marco (o mortaja tibioperonea) formado por dos huesos cuya unión tiene lugar mediante una sindesmosis. Se trata de una articulación de tipo troclear, que se verá reforzada por un sistema de contención ósea y de retención capsu-

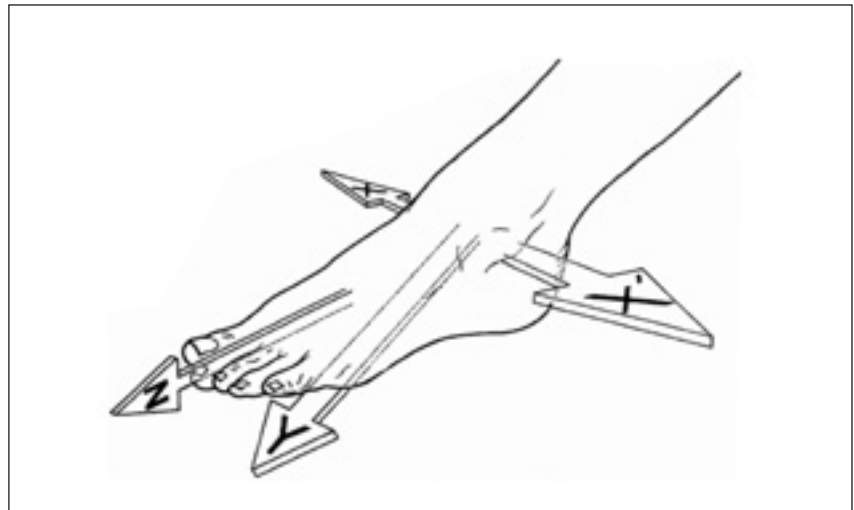


Figura 3.1

Los tres ejes principales del complejo articular del pie. (Fuente: Kapandji, 1998)

liligamentosa, con objeto de impedir los movimientos de varo y valgo del astrágalo dentro de la mortaja tibioperonea (Llanos, 1997).

Según Kapandji (1998), si se compara esta articulación con un modelo mecánico, se puede describir de la siguiente manera:

- a) Una pieza inferior, el astrágalo, que soporta una superficie cilíndrica (en una primera aproximación) con un gran eje transversal XX.
- b) Una pieza superior, la porción inferior de la tibia y el peroné, que constituyen un bloque cuya superficie inferior presenta un agujero en forma de segmento cilíndrico idéntico al anterior.

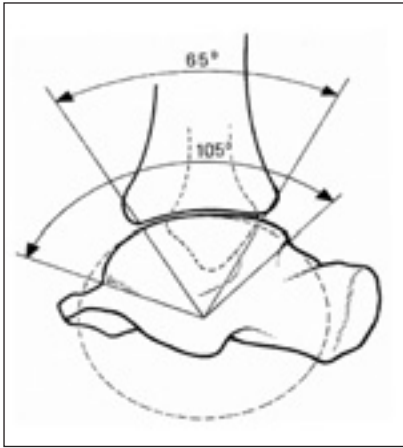
El cilindro macizo, encajado e el segmento de cilindro hueco y sujeto lateralmente entre ambos flancos de la pieza superior, puede realizar movimientos de flexión y de extensión alrededor del eje común XX. En la realidad anatómica, el cilindro macizo corresponde a la polea astragalina, compuesta de tres partes: una superficie superior y dos superficies laterales, las carillas.

La tróclea astragalina viene a ser como un segmento de cilindro de unos 105° en el plano horizontal presenta una forma de cuña más ancha por delante que por detrás. Debido a esta forma en cuña, los

planos que pasan por los bordes laterales de la tróclea son convergentes hacia atrás formando un ángulo abierto hacia delante de unos 5° (Viladot y Viladot, 1999).

Hay que resaltar la perfecta congruencia que existe entre la mortaja tibioperonea y la tróclea: la primera cubre un ángulo de unos 65°, más de la mitad de la tróclea; esto tiene más valor si pensamos que la movilidad total del tobillo es de unos 70°, de los cuales sólo se recorren apenas 20° en el giro de la marcha normal (Fig. 3.2). Esta perfecta unión se halla estabilizada por la acción de ambos maléolos con sus conexiones ligamentosas al tarso. Debemos destacar que esta congruencia es muy superior a la del resto de articulaciones de la extremidad inferior, en particular cadera y rodilla. Esto constituye un buen argumento para explicar la rareza de la artrosis del tobillo, proceso tan frecuente en otras articulaciones de la extremidad inferior. A la inversa, también justifica la precoz aparición de la misma en cuanto se pierde la congruencia (Viladot y Viladot, 1999).

La ATPA posee un eje de movimiento oblicuo en relación con los planos anatómicos del pie (Angulo y Llanos, 1997; Inman, 1976). Este eje, cuyo trayecto se aproxima a la línea que une la zona más caudal de ambos maléolos, se sitúa en rotación externa con respecto al eje

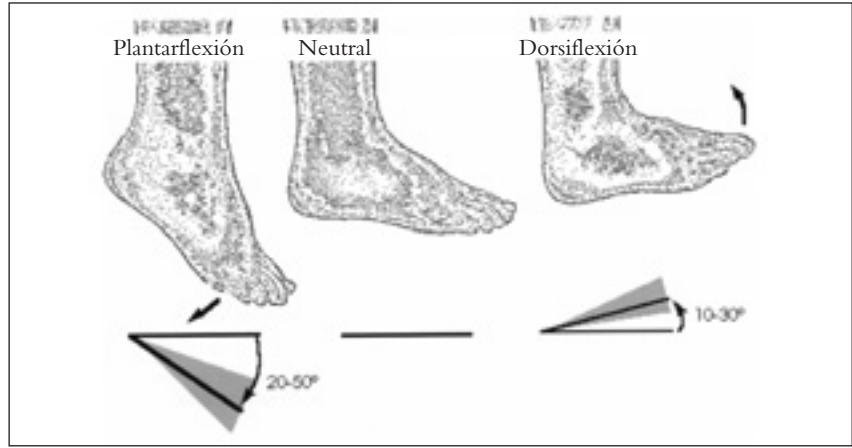


**Figura 3.2**

Representación de la congruencia existente entre la mortaja tibioperonea y la tróclea astragalina. (Fuente: Viladot y Viladot, 1999)

articular de la rodilla. Está orientado de forma que constituye un ángulo de aproximadamente 8° con el plano transversal y de 6° con el plano frontal. La inclinación que presenta el eje le permite realizar al tobillo, además de un movimiento de flexión dorsoplantar del pie, un desplazamiento asociado del astrágalo en el plano horizontal. Dicho desplazamiento produce un movimiento de aducción en el transcurso de la flexión plantar y, por el contrario, de abducción durante la dorsiflexión (Angulo y Llanos, 1997). Debido a esta asociación de movimientos articulares realizados en dos planos del espacio (sagital y horizontal), algunos autores consideran el tobillo una articulación de tipo helicoidal (Murphy et al., 1992).

Para la ejecución del movimiento de flexo-extensión (Fig. 3.3), la posición de referencia es aquella en la que la planta del pie es perpendicular al eje de la pierna (Kapandji, 1998). A partir de esta posición, la flexión dorsal o dorsiflexión se define como el movimiento que aproxima el dorso del pie a la cara anterior de la pierna. Por el contrario, la extensión o flexión plantar de la articulación tibiotalar aleja el dorso del pie de la cara anterior de la pierna mientras que el pie tiende a situarse en la prolongación de la pierna. La



**Figura 3.1**

Posición de referencia y movimientos de flexo-extensión en el tobillo.

amplitud de la extensión es mucho mayor que la de la flexión, con un rango normal aproximado de 30 a 50° y de 20 a 30°, respectivamente. Los estudios de análisis de la marcha muestran que son necesarios como mínimo 10° de flexión dorsal y 20° de flexión plantar para la normal función del tobillo durante la marcha (Jiménez, 2007).

Durante la extensión completa, es decir, cuando la parte anterior del astrágalo se encuentra alojada en la mortaja, la distancia intermaleolar aumenta mínimamente (Llanos, 1997). Close (1956) midió las variaciones del peroné entre los movimientos extremos articulares, hallando que se traslada lateralmente 1,5 mm, y gira sobre su eje mayor únicamente 2,5°. Browner et al. (1998) señalan que la cantidad de separación entre los maléolos varía de 0,2 a 1,8 mm soportando carga y de 0 a 1,6 mm sin carga. La mayoría de estos cambios ocurren mientras el tobillo se mueve desde la flexión plantar total a la posición neutra, con cambios menores desde la neutra a la flexión dorsal.

### 1.2. Requerimientos funcionales de la articulación tibioperoneo-astragalina

La suposición de Bragard (1932) de que el peso corporal gravita sobre una línea que atravesaría las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo, que denominó “eje de carga”, puede conducir a falsas interpretaciones. La comprensión de la

funcionalidad de la extremidad inferior, incluida la articulación del tobillo, supone el conocimiento exacto de los complicados fenómenos que el acto de la marcha conlleva.

El análisis de la marcha del ser humano ha sido tratado de manera exhaustiva en trabajos clásicos como el de Eberhard e Inman (1947) o el de Fisher (1985). En ellos se consideraron las coordenadas del espacio en el vértice craneal, grandes articulaciones, puntos gravitatorios de las extremidades y centro de gravedad corporal. Asimismo, fueron calculadas y mostradas las variaciones de la aceleración de la velocidad en cada punto asilado, así como componentes de la presión del suelo para las 31 diferentes fases en las que fue desintegrado cada paso o ciclo completo de la marcha.

Desde un punto de vista mecánico, la ARPA y el pie se comportan como una palanca de segundo género durante la marcha (fig. 3.4). El punto de apoyo está constituido por el apoyo metatarsiano; la resistencia la constituye el peso del cuerpo que es transmitido por la tibia al pie a través del tobillo; y la fuerza es ejercida por el tendón de Aquiles a través de su inserción en el calcáneo. La distancia que separa el punto de apoyo de la resistencia se llama brazo de resistencia. La distancia que separa la fuerza del punto de apoyo se llama brazo de fuerza o potencia. En el pie, el se-

gundo es más largo que el primero, lo cual permite al tendón de Aquiles elevar el peso del cuerpo (Viladot y Viladot, 1999).

Si imaginamos estáticamente las tres situaciones de base en la marcha, que son la fase de ataque del suelo con el talón, fase de pedestación y fase de abandono del suelo o de impulsión, representadas en el modelo para una sola pierna en el momento de apoyarse sobre el talón, planta y dedos, vemos que en cada paso se presentan grandes variaciones en la presión intraarticular de la ATPA. Así, al apoyarse el talón, los músculos extensores evitan la caída del antepié, resultando de ello una presión articular de aproximadamente el doble del peso corporal. Al apoyar la planta del pie (fase de pedestación), en situación ideal, no se produce ningún momento de torsión por lo que la presión articular será igual al peso corporal. Finalmente, al apoyar los dedos del pie, debido a la desigualdad en la longitud de los brazos de palanca, representados por el peso corporal y la potencia de la musculatura sural, la presión articular será tres veces mayor que el peso corporal (Ruiz Caballero, 1996).

Así pues, la presión articular estática que se produce en las fases de apoyo del talón y los dedos está originada por momentos de torsión o rotación, cuya fuerza viene determinada por la presión del suelo y la acción muscular. Bajo las condiciones dinámicas de la marcha, los mecanismos productores de estas presiones serán, en principio, los mismos, añadiéndose tan sólo los impulsos y fuerzas de cizallamiento originados por la reacción del suelo.

Un papel muy especial en la mecánica articular lo desempeñan el maléolo peroneo y el canto tibial posterior. En la primera mitad de la fase de apoyo, los dos componentes de la pinza tibioperonea, unidos por la sindesmosis inferior, se aprietan estrechamente contra el astrágalo, quedando los ligamentos sindesmales sometidos a fuerzas distractoras considerables. Estas fuerzas, que tie-

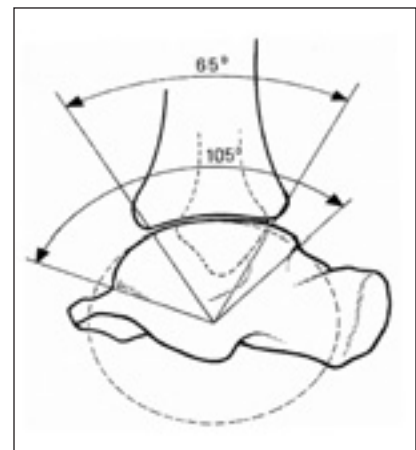
nen a estrechar solidarizando la mortaja tibioperoneoastagalina, suponen durante la marcha una quinta parte de la presión articular (de 20 a 40 kg. Aproximadamente) (Ruiz Caballero, 1996).

Durante la fase de pedestación, el eje transversal de la ATPA rota hacia adentro pero sin llegar a alcanzar el plano frontal. Esto consigue frenar la tendencia al valgo por medio de la fuerza muscular activa y puesta en tensión del ligamento deltoideo. Al mismo tiempo actúan los músculos extensores, el cuádriceps femoral y, algo más tarde, los elevadores del arco plantar, amortiguándose las fuerzas impulsoras y de cizallamiento de manera elástica a través del complejo maléolo peroneo-sindesmosis-canto tibial posterior.

Al llegar la fase de impulsión o abandono del suelo, se produce una rotación externa de la ATPA ocasionada por fuerzas musculares internas, descargándose así el maléolo peroneo y transmitiéndose las grandes fuerzas de presión axiales, directamente a la superficie de carga distal de la tibia.

Fisher (1985) señala que la fase de ataque del suelo con el talón es especialmente crítica, ya que tanto las fuerzas de presión como las impulsoras alcanzan su máximo valor. De este modo, si la ATPA experimenta de forma súbita un momento de torsión durante esta fase, como consecuencia de un mal apoyo o un tropiezo, el complejo maléolo peroneo-sindesmosis-canto tibial posterior no podrá hacer frente a tal requerimiento y se producirá la fractura maleolar.

En definitiva, podemos concluir que la amplitud y dirección de los requerimientos funcionales de la ATPA dependen del sentido de las fuerzas externas y de las fuerzas parciales de la presión del suelo. Pero la ATPA no sólo se encuentra sometida a fuerzas de presión, sino que soporta también fuerzas impulsoras de cizallamiento, rotación y acción valguizante. Estos requerimientos son mucho mayores de lo que a priori podría suponerse.



**Figura 3.4**

Representación de la articulación tibioperoneoastagalina y el pie como una palanca de 2º género, en donde F: Apoyo, E: Potencia y R: Resistencia.

Asimismo, la articulación subastragalina y demás articulaciones del antepié son de gran importancia para la armónica función de la ATPA; por tanto, no podemos olvidar la relaciones funcionales que existen entre ellas.

### 1.3. Biomecánica de la articulación subastragalina

La articulación subastragalina está constituida por tres uniones anatómicas establecidas entre la porción inferior del astrágalo y la dorsal del calcáneo. Las superficies articulares poseen una compleja configuración, de forma que la superficie articular posterior del calcáneo y la cabeza del astrágalo constituyen un ovoide convexo, mientras que las superficies media y anterior del calcáneo y la superficie navicular del astrágalo son ovoides cóncavos. Este hecho provoca que, cuando se desliza la superficie convexa sobre la cóncava, se produzca un giro, traslación y rodamiento hacia el lado opuesto al movimiento (Angulo y Llanos, 1997; Sarrafian, 1993). Por el contrario, al deslizarse la superficie ovoidea cóncava sobre la convexa, el movimiento de rodamiento que se produce junto a la traslación y el giro posee la misma dirección del deslizamiento (Angulo y Llanos, 1997).

El complejo articular subastragalino se mueve alrededor de un mismo eje, de orientación oblicua, que penetra por la región posterolateral del calcáneo, pasa perpendicular al seno del tarso y sale por la zona superomedial del cuello del astrágalo. Dicho eje, denominado de Henke, forma un ángulo de 42° con el plano transversal y de 16° con el plano sagital. Esta orientación del eje origina un movimiento de desplazamiento conjunto de la articulación en los tres planos del espacio: flexión plantar-supinación-aducción (eversión) y flexión dorsal-pronación-abducción (eversión) (Angulo y Llanos, 1997; Donatelli, 1990; Inman, 1976; Kapandji, 1998).

Sarraffian (1993), citado por Angulo y Llanos (1997), señala que el grado de orientación de las superficies articulares afecta la amplitud del movimiento de la articulación subastragalina. La superficie articular posterior del calcáneo posee un ángulo de inclinación de 65° y, cuanto mayor inclinación presente, mayor componente de flexión plantar se realizará durante el movimiento. Por su parte, la superficie articular posterior del astrágalo posee un ángulo de declinación de aproximadamente 37°. Un mayor ángulo de declinación orientará la superficie articular en dirección longitudinal, lo que aumentará la flexión dorsoplantar. Si el ángulo de declinación es pequeño, la orientación es más transversa y crea un aumento del movimiento de pronación-supinación.

Sólo existe una posición de congruencia de la articulación subastragalina: la posición media (Kapandji, 1998). El pie está alineado con el astrágalo, es decir, sin inversión ni eversión; ésta es la posición que adopta un pie "normal" (ni plano ni cavo) en ortostatismo sobre un plano horizontal, en paralelo, con apoyo simétrico. Las superficies articulares de la subastragalina posterior se corresponden entonces a la perfección, la carilla del cuello del astrágalo descansa sobre

la carilla de la apófisis menor del calcáneo y la carilla media de la cabeza del astrágalo descansa en la carilla horizontal de la apófisis mayor. Esta posición de alineamiento en la que las superficies se adaptan unas a otras por la acción de la gravedad y no por los ligamentos, no sólo es estable, sino que se puede mantener durante largo tiempo merced a la congruencia. Todas las posiciones restantes son inestables y conllevan una incongruencia más o menos acentuada (Kapandji, 1998).

La articulación subastragalina y la articulación tibioperoneo-astragalina se comportan funcionalmente como un cardán heterocinético (modelo mecánico simplificado) (Angulo y Llanos, 1997). En mecánica industrial, el cardán se define como una articulación con dos ejes perpendiculares entre sí, comprendida entre dos árboles, tales articulares transmiten el movimiento de rotación de un árbol al otro, sea cual fuere el ángulo formado entre ellos.

En lo que concierne al retropié, la gran diferencia reside en el hecho de que se trata de un cardán heterocinético, es decir, que no es regular (Kapandji, 1998): sus ejes de giro están situados en planos diferentes, de tal forma que los movimientos que tienen lugar encada una de ellas implican el movimiento de la otra (Angulo y Llanos, 1997; Inman, 1976; Scout y Winter, 1991). Por esta causa se van a producir movimientos a lo largo de unas direcciones preferenciales. Así, por ejemplo, en la ATPA se producirán movimientos de flexión dorsoplantar fundamentalmente y, en menor proporción, de rotación o abducción-aducción, movimientos que, por el contrario, ocurrirán principalmente en la articulación subastragalina (Angulo y Llanos, 1997).

La comprensión del mecanismo de este cardán heterocinético es fundamental para interpretar las acciones musculares, la orientación de la planta del pie, su estática y su dinámica.

#### 1.4. *Requerimientos funcionales de la articulación subastragalina*

Desde un punto de vista clínico, el grado de movimiento de la articulación subastragalina está representado por un rango de amplitud de 5 a 10° para la eversión y de 25 a 30° para la inversión (Sarraffian, 1993).

La unión astragalocalcánea, como ya hemos comentado, interviene en los movimientos combinados de inversión-eversión del pie, pero la implicación del calcáneo y el astrágalo en ellos va a ser diferente, dependiendo de si se trata de un movimiento realizado con el pie en carga (cadena cinética cerrada) o sin el apoyo del pie en el suelo (cadena cinética abierta) (Angulo y Llanos, 1997). En este último caso, el responsable del movimiento es el calcáneo, que en su desplazamiento arrastra consigo todo el pie, realizando además un movimiento de listesis (Mann, 1982).

Cuando la articulación subastragalina se halla sometida a carga, situación que tiene lugar durante la marcha, el astrágalo será responsable de la mayor parte del movimiento que se produce en los planos sagital y transversal, mientras que el calcáneo sólo realizará movimientos en el plano frontal. En el transcurso de la deambulación normal, tras el apoyo del talón, y a causa de la resistencia que el suelo opone a los desplazamientos del calcáneo, éste quedará bloqueado para realizar cualquier tipo de movimiento que no sea supinación o pronación. En esta situación, el astrágalo originará el movimiento de dorsiflexión y abducción con respecto al calcáneo durante la inversión y, a su vez, el astrágalo es responsable del desplazamiento en flexión plantar y aducción en el transcurso de la eversión del pie (Angulo y Llanos, 1997).

## 2. **Biomecánica de las articulaciones peroneotibiales**

La tibia y el peroné se articulan por sus dos extremos a la altura de

las articulaciones peroneotibiales superior e inferior. Estas articulaciones están mecánicamente comprometidas con la tibiotarsiana y, por tanto, algunos autores consideran que deben ser analizadas al estudiar biomecánica del tobillo (Kapandji, 1998).

La articulación peroneotibial inferior es la primera implicada. Se trata de una sindesmosis que no se une directamente los dos huesos, sino que éstos permanecen separados por un tejido celuloadiposo. Este espacio se puede ver en una radiografía anterior correctamente centrada del tobillo. Normalmente, la proyección del peroné penetra más (8mm) en el tubérculo tibial anterior de lo que está separada (2mm) del tubérculo posterior. Si la distancia entre la proyección del peroné y el tubérculo posterior es mayor que la distancia entre el tubérculo anterior y el peroné, se puede hablar de diastasis intertibioperonea (Kapandji, 1998).

La forma de la polea astragalina permite deducir que la carilla tibial interna es sagital, mientras que la externa, peronea, pertenece a un plano oblicuo hacia delante y afuera. Por consiguiente, la anchura de la polea es menor por detrás que por delante, siendo la diferencia de 5mm. Para mantener lo más próximas posible las dos carillas de la polea, la separación intermaleolar debe variar dentro de unos límites (mínimo en la extensión y máximo en la flexión), como ya comentamos anteriormente. Además, se puede constatar en una preparación anatómica que este movimiento de separación y aproximación de los maléolos se acompaña de una rotación axial del maléolo externo, haciendo de charnela el ligamento peroneotibial anterior. Por último, el peroné realiza movimientos verticales. De hecho, unido a la tibia mediante fibras oblicuas hacia abajo y afuera de la membrana interósea el peroné, cuando se separa de la tibia asciende ligeramente, mientras que desciende si se aproxima a ella.

La articulación peroneotibial superior es una artrodia que pone en contacto dos superficies ovals planas o ligeramente convexas. Se puede ver con claridad cuando se desplaza el peroné una vez seccionados su ligamento anterior y la expansión anterior del tendón del bíceps; es entonces cuando la articulación se abre alrededor de la charnela constituida por el ligamento posterior. La carilla tibial se localiza en el contorno posteroexterno de la meseta tibial, y está orientada oblicuamente hacia atrás, abajo y afuera. La carilla peronea se localiza en la cara superior de la cabeza del peroné y su orientación se opone a la de la carilla tibial.

La articulación peroneotibial superior acusa el contragolpe de los movimientos del maléolo externo. Así, durante la flexión del tobillo la carilla peronea se desliza hacia arriba y la interlínea bosteza hacia abajo (separación de los maléolos) y hacia atrás (rotación interna). Por el contrario, durante la extensión del tobillo se observan los movimientos inversos. Estos desplazamientos son muy leves, pero existentes (Kapandji, 1998); la mejor prueba de ello es que, a través de la evolución, la articulación peroneotibial superior no se ha soldado todavía.

De esta forma, mediante el juego de las articulaciones peroneotibiales, de los ligamentos y del tibial posterior, la pinza bimaleolar se adapta permanentemente a las variaciones de anchura y de curva de la polea astragalina, asegurando así la estabilidad transversal de la tibiotarsiana. Entre otras razones, es para no comprometer esta adaptabilidad por lo que se ha abandonado la colocación de pernos en el tratamiento de las diastasis tibioperonea.

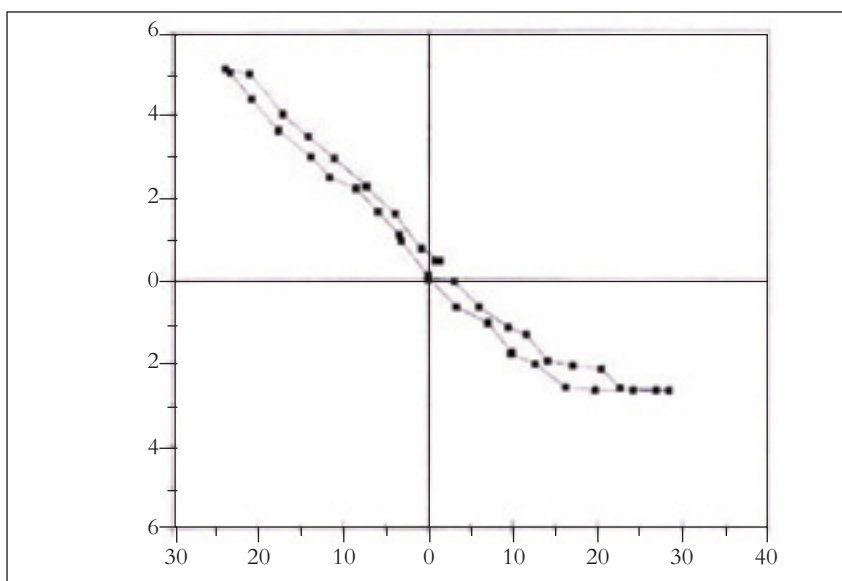
### 3. Estabilidad del tobillo

La estabilidad de la articulación tibioperoneoastragalina (ATPA) se mantendrá básicamente por la configuración de las carillas articulares, por el sistema ligamentario

(medial y lateral) y por la cápsula articular y ligamentos interóseos. Es decir que, al igual que ocurre con la articulación de la cadera, su estabilidad es inherente al diseño morfológico (Llanos, 1997).

La contribución de las superficies articulares, los ligamentos y las estructuras capsulares y ligamentarias a la estabilidad y función del tobillo están influenciadas por los cambios en las características de la carga y la posición articular y se alteran en respuesta a la lesión. Estos estudios biomecánicos han mostrado que a medida que en tobillo se mueve en el plano sagital el astrágalo se desliza y rota al mismo tiempo bajo el pilón tibial (Griend, Michelson y Bone, 1996). Además, el movimiento del tobillo en el plano sagital induce movimientos acoplados en los planos axial y coronal, La flexión plantar del tobillo se acompaña de la rotación interna del astrágalo, mientras que la flexión dorsal produce su rotación externa (Fig. 3.5). La dorsiflexión también produce la traslación posterolateral y la rotación externa del peroné, con un movimiento vertical mínimo.

Actualmente se conoce bien que los patrones de lesión asociados con las fracturas de tobillo son más complejos que el simple desplazamiento lateral del astrágalo en la mortaja lesionada. Es difícil valorar este desplazamiento, que ocurre en múltiples planos, sólo con las radiografías convencionales. Por ejemplo, lo que en la radiografía simple parece una traslación lateral directa del astrágalo, es realmente una rotación del astrágalo dentro de la mortaja. No apreciar esto lleva a entender mal los cambios biomecánicos reales que suceden, llevando al diseño de modelos experimentales inexactos, y puede contribuir a la confusión respecto al tratamiento clínico. Los modelos experimentales de las fracturas de tobillo que consideran únicamente la traslación lateral directa del astrágalo no representan con exactitud las consecuencias de la lesión (Griend et al., 1996).



**Figura 3.5**

Diagrama del movimiento acoplado que ocurre cuando el tobillo se mueve en dorsiflexión y flexión plantar. (Fuente: Griend, Michelson y Bone, 1996)

El área de contacto del tobillo es relativamente grande en comparación con la cadera y la rodilla debido a la elevada congruencia de las superficies articulares. No obstante, el desplazamiento del astrágalo lleva a una situación de incongruencia, disminuye el área de contacto e incrementa el estrés en las áreas de contacto remanente (Thordarson et al., 1997). Ramsey y Hamilton (1976) reportaron que el desplazamiento lateral del astrágalo de 1 mm disminuye el área de contacto en un 42%, y con 3 mm la disminución es superior al 60% (Jiménez, 2007). El peroné es esencial para brindar estabilidad y prevenir el desplazamiento del astrágalo (Browner et al., 1998).

La fisiología y el estudio del movimiento de la ATPA ha determinado que el peroné juega un papel fundamental en el mecanismo de dicha articulación a través de las estructuras ligamentarias que se insertan en él (Kapandji, 1998), las cuales les permiten realizar distintos tipos de movimientos (García y Landaluce, 1989), como por ejemplo: lateromediales, de rotación tanto interna como externa y principalmente un movimiento de descenso vertical activo por actuación de los flexores del pie, profundizándose en la mortaja y favore-

ciendo una estabilidad mayor de la ATPA (Czarnitzki et al., 1993; Scraton et al., 1976).

La resistencia normal de esta última depende del cierre anatómico de la mortaja, determinado por la estabilidad de la región maleolar externa, dada por (Czarnitzki et al., 1993; Weber, 1971):

- Longitud normal del peroné;
- Relación normal entre peroné e incisura tibial;
- Suficiencia de los ligamentos de la sindesmosis (ligamento peroneotibial anterior, ligamento peroneotibial posterior y membrana interósea).

### 3.1. Estabilidad anteroposterior de la articulación tibioperoneoastragalina

La estabilidad anteroposterior de la tibiotalariana y su coaptación están aseguradas por la acción de la gravedad que ejerce el astrágalo sobre la superficie tibial, cuyos márgenes anterior y posterior representan unas barreras que impiden que la polea se escape hacia delante o, con mucha más frecuencia, hacia atrás cuando el pie extendido contacta con fuerza con el suelo. Los ligamentos laterales aseguran la coaptación pasiva y los músculos actúan todos como coaptadores ac-

tivos sobre una articulación intacta (Kapandji, 1998).

La amplitud de los movimientos de flexoextensión de la ATPA se encuentra limitada por una serie de factores que son:

- a) Factores óseos: en la flexión máxima la cara superior del cuello del astrágalo impacta contra el margen anterior de la superficie tibial. La parte anterior de la cápsula se ve protegida del pinzamiento, al ser desplazada por la tensión de los flexores, merced a las adherencias que establece con las vainas de los mismos. En la extensión, los tubérculos posteriores del astrágalo, sobre todo el externo, contactan con el margen posterior de la superficie tibial. La cápsula está protegida del pinzamiento por un mecanismo análogo al de la flexión.
- b) Factores capsuloligamentosos: en la flexión, la parte posterior de la cápsula se tensa, al igual que los haces posteriores de los ligamentos laterales. En la extensión, por el contrario, se tensan la parte anterior de la cápsula y los haces anteriores.
- c) Factores musculares: en la flexión, la resistencia tónica del músculo tríceps sural intervine antes que los factores descritos anteriormente, de forma que una retracción muscular puede limitar precozmente la flexión e, incluso, el tobillo puede permanecer en extensión (pie equino). La resistencia tónica de los músculos flexores limita en primer lugar la extensión y, cuando existe una hipertonia de los mismos, se produce una flexión permanente del tobillo (pie talo).

### 3.2. Estabilidad transversal de la articulación tibioperoneoastragalina

La tibiotalariana es una articulación dotada de un solo grado de libertad, ya que su propia estructura le impide cualquier movimiento alrededor de uno de sus otros dos

ejes. Esta estabilidad se debe a un estrecho acoplamiento, una verdadera unión entre espiga y mortaja: la espiga astragalina está bien sujeta en la mortaja tibioperonea.

Cada rama de la pinza bimalleolar sujeta lateralmente al astrágalo, siempre que la separación entre el maléolo externo y el interno permanezca inalterable. Esto supone, además de la integridad de los maléolos, la de los ligamentos peroneo-tibiales inferiores. Además, los po-

tentes ligamentos laterales externo e interno impiden cualquier movimiento de balanceo del astrágalo sobre su eje longitudinal (Kapandji, 1998).

La estabilidad lateromedial está definida por los maléolos y los ligamentos que en ellos se insertan, en tanto que en el plano sagital va a ser ligamentodependiente (Llanos, 1997). El maléolo actúa como pilar de inserción de los ligamentos cercanos al eje de la rotación de la ar-

ticulación. Esto permite que algunas porciones del complejo ligamentario lateral y medial permanezcan tensas durante el arco de flexoextensión y, por lo tanto, brinda estabilidad rotacional (Browner et al., 1998; Jiménez, 2007). Posteroexterna e internamente, los tendones peroneos del tibial posterior, flexor largo común de los dedos, flexor corto del dedo gordo y sus vainas, también contribuirán a estabilizar el sistema (Llanos, 1997).

#### BIBLIOGRAFÍA

1. **Monteagudo de la Rosa M, Villardefrancos Gil S.** Artrodesis frente a artroplastia en el tobillo traumático. Indicaciones. MC Medical 2007; 15 (4): 119-124.
2. **Shepherd DE, Seedhom BB.** Thickness of human articular cartilage in joints of the lower limb. Ann Rheum Dis 1999; 58 (1): 27-34.
3. **Griend RV, Michelson JD, Bone LB.** Fractures of the ankle and the distal part of the tibia. J Bone and Joint Surg 1996; 78 (A): 1772-1883.
4. **Angulo MT, Llanos LF.** Patomecánica del Complejo articular periastragalino. Biomecánica 1993; 2 (1): 77.
5. **Kapandji IA.** Fisiología articular: esquemas comentados de mecánica humana (tomo 2), 5ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 1998.