

**“Relación de Momentos de Fuerza sobre el Antepié Plantar y la  
Localización Espacial del STJA”**

AUTORES

- Prof. D. Francisco Monzó Pérez. Profesor Colaborador de Podología de la Universidad Miguel Hernández de Elche. (PONENTE).
- D. José Salvador García. Podólogo.
- Dña. Ana Maria Castrillón. Podóloga.

## **RESUMEN**

Son numerosas las deformidades podológicas presentes en la práctica clínica, que interfieren en la biomecánica del pie durante el ciclo de la marcha.

En este trabajo realizamos un breve resumen de como interactúan las llamadas fuerzas reactivas del suelo (fuerzas externas) sobre el antepié plantar, las fuerzas de origen muscular, fuerzas de origen ósteo-ligamentoso (fuerzas internas), en condiciones de carga, sobre la localización espacial del eje de rotación subtalar descrito en 1989 (desarrollado posteriormente en el año 2001) por el Dr. Kirby.

Realizamos una aproximación clínico-biomecánica de cómo diversas deformidades primarias (deformidad estructural congénita) o secundarias (posiciones adquiridas por adaptación de partes blandas), van a alterar la proporción de fuerzas tanto internas como externas, que mantienen un equilibrio de tipo rotacional en la localización espacial del eje de rotación subtalar y por lo tanto, sobre la función correcta y normal del pie.

La condición de pérdida de equilibrio dada por la presencia de deformidades como el antepié varo o supinado (posición invertida del antepié), antepié valgo, antepié aducto y antepié abducto, originará una gran batería de signos y síntomas traducidos en la aparición de dolor y queja por parte del paciente.

Por último resaltamos la gran importancia que tiene la asociación existente entre: la determinación de todas las fuerzas externas o fuerzas reactivas del suelo, resumidas en el concepto de centro de presiones, la localización anatómica del eje de rotación subtalar sobre el pie plantar y por otro lado la existencia de alteraciones en el antepié en los diversos planos corporales.

## **INTRODUCCIÓN BIOMECÁNICA**

La función adecuada de la articulación subastragalina (STJ) es crítica para la función normal del pie en cualquier actividad donde haya apoyo de los miembros inferiores. La función óptima de la articulación subtalar no puede darse si existen fuerzas patológicas que actúan sobre dicha articulación durante el proceso de la marcha.

Si las fuerzas patológicas que actúan sobre la STJ tienden a pronar o supinar el pie, primero las fuerzas deben de convertirse en fuerzas rotacionales, llamados también momentos o torsiones de fuerza, con el fin de provocar el movimiento rotacional de la articulación subtalar. El concepto de momento del eje de la STJ es un método útil para la descripción de las fuerzas mecánicas que actúan sobre el eje de esta articulación en actividades donde se produce apoyo. (1,2)

Las fuerzas que actúan sobre el pie que son convertidas en momentos que actúan a través del eje de STJ son tan numerosas y complejas que una explicación detallada de sus interacciones requerirá muchos años de investigación intensa. Sin embargo, aceptando el hecho básico biomecánico de que hay momentos de pronación y supinación que actúan a través del eje de STJ durante actividades en las que hay apoyo, es importante desarrollar un mejor entendimiento de la etiología de muchas entidades patomecánicas en las extremidades inferiores.

La articulación subastragalina es dependiente de otras fuerzas que actúan sobre ella misma para producir un movimiento rotacional sobre su mismo eje. Estas fuerzas pueden ser generadas externamente, como las acciones de la fuerza reactiva del suelo sobre el talón plantar y antepié plantar o puede ser generada internamente, como la contracción de origen muscular como por ejemplo, del músculo tibial posterior.

La fuerza generada por la fuerza reactiva del suelo o por la contracción muscular actúa en una dirección lineal. Las articulaciones del cuerpo convierten estas fuerzas directas lineales en movimientos rotacionales complejos que permiten a los individuos que anden, corran y que hagan otro tipo de actividades diarias.

Para que una fuerza directa lineal se convierta en un movimiento rotacional sobre el eje de articulación subastragalina o cualquier otra articulación del eje, primero la fuerza debe de convertirse en una fuerza rotacional. Esta fuerza rotacional se conoce como el momento de la fuerza que hay alrededor del eje de articulación, o como una torsión.

Un momento o una torsión es el resultado matemático de la magnitud de la fuerza y la distancia perpendicular que hay desde la línea de aplicación de la fuerza al eje de articulación. La distancia perpendicular que hay desde la línea de aplicación de la fuerza al eje de articulación es el momento de brazo o el brazo de palanca. Por eso, el momento (M), o torsión, es igual a la fuerza (F) por la distancia al punto de aplicación de la fuerza (D), o  $M = F \times D$ . (1, 2, 3) La tensión de una fuerza en el tendón de Aquiles, (F), actúa a una distancia perpendicular del eje de articulación del tobillo de un momento de brazo, (D), produce un momento de plantaflexión en la articulación del tobillo del momento, (M). (Fig. 1). El momento se expresa generalmente en unidades de pie-libra o en metros Newton (NM).

Para mejorar el momento, la magnitud de la fuerza debe de incrementarse o el largo del brazo de palanca debe de aumentar. Para minimizar el momento, la magnitud de la fuerza debe de disminuir o el largo del momento de brazo debe de disminuir. Por ejemplo, si el músculo tibial posterior se debilita y solamente puede contraerse con un 25% de su fuerza global normal, el músculo tibial posterior será capaz de ejercer/emplear solamente un cuarto de su momento de supinación normal a través del eje de STJ. (1)

### ***Importancia de los momentos de fuerza provenientes de las fuerzas reactivas del suelo.***

La fuerza reactiva del suelo que actúa sobre las estructuras de ambos miembros que se encuentran apoyados tiende a producir tanto un momento de pronación como uno de supinación sobre el eje de articulación subastragalina. Durante la fase de apoyo, la fuerza reactiva del suelo que se produce sobre el tubérculo medial del calcáneo hace posible un momento de supinación sobre el eje de articulación subtalar, ya que el tubérculo medial calcáneo es medial al eje de dicha articulación en unos pies normales. La fuerza reactiva del suelo que hay sobre la parte plantar de la base y el eje del quinto metatarsiano y sobre las cabezas metatarsales laterales que serán denominadas como el antepié lateral, produce un momento de pronación sobre el eje de STJ, ya que todas estas estructuras son laterales al eje de STJ en unos pies normales. Por otro lado las fuerzas reactivas del suelo que actúan sobre la base y el eje del primer metatarsiano provocarán, en un pie normal, un leve momento de fuerza supinador ya que dicha estructura queda medial a la localización espacial del eje de rotación. (Fig. 2). (4)

La magnitud y la dirección de la fuerza reactiva del suelo dependen del peso del individuo y de la actividad que el individuo está desarrollando en ese momento. Por eso, si dos individuos se encuentran de pie en una posición relajada de apoyo (por ejemplo, estando en el ángulo y en la base de la marcha), y tienen el mismo peso corporal, la magnitud y la dirección de la fuerza reactiva del suelo que hay sobre la parte plantar de los pies de ambos individuos será aproximadamente la misma. (1, 4)

### ***Importancia de la localización anatómica del eje de rotación subtalar sobre el pie plantar***

Durante estos últimos 20-30 años, el Dr. Kirby ha averiguado, que la posición del eje de articulación subastragalina en relación con las estructuras del pie plantar de los pies varía de un individuo a otro, y normalmente son asimétricos si comparamos el pie derecho de un individuo con el izquierdo. La localización espacial normal en relación al pie plantar iría desde, la parte postero-lateral-plantar del calcáneo a la diáfisis y cabeza aproximadamente del primer metatarsiano. (Fig. 3)

Las desviaciones posicionales en el eje de articulación subastragalina en relación con las estructuras de peso plantar de los pies se han agrupado en dos deformidades básicas: desviación medial o lateral del eje de articulación subtalar.

En la determinación de la terminología de la desviación medial o lateral del eje de STJ, la superficie de apoyo del pie fue elegida como el punto de referencia ya que es esta área del pie es la que permanece inmóvil durante las actividades donde hay apoyo. Es beneficioso elegir la superficie plantar del pie como el plano de referencia, ya que durante la pronación o supinación de la cadena cinética cerrada de la articulación subastragalina, el eje de esta articulación experimenta una serie de movimientos tanto rotacionales como traslacionales dentro de ese mismo espacio, mientras que la superficie plantar del pie permanece relativamente inmóvil en el suelo. (2, 3, 4)

La desviación lateral y medial del eje de STJ tiene un efecto profundo en la función del pie ya que estas deformidades alteran directamente el largo del momento del brazo sobre la cual la fuerza reactiva del suelo y la fuerza de contracción muscular actúan para llevar a cabo los momentos de supinación y pronación sobre el eje de esta articulación.

En un pie con un eje medialmente desviado, el eje de esta articulación se encuentra colocado en una posición más medial en relación con las estructuras plantares de apoyo del pie (*Fig.4*). El tubérculo calcáneo medial, que es el área principal de apoyo del calcáneo en la fase de apoyo, está localizado mucho más cerca del eje de articulación subastragalina en un pie con un eje medializado. El antepié lateral comienza a estar más lejos del eje de articulación subastragalina al mismo tiempo que este eje se coloca progresivamente en una parte más medial. (2, 3, 4, 5)

Por eso, el STJA desviado medialmente, da lugar a una disminución en el momento de brazo que la fuerza reactiva del suelo ha proporcionado para producir un momento de supinación sobre el eje de articulación subastragalina gracias a sus acciones sobre el tubérculo calcáneo medial. También da lugar a un aumento en el momento de brazo que la fuerza reactiva del suelo ha proporcionado para producir un momento de pronación debido a sus acciones que recaen sobre el antepié lateral.

Los cambios respectivos a lo largo del tiempo de los momentos de brazo de pronación y supinación, que es el resultado del eje de articulación subastragalina medialmente desviado, da lugar a un aumento neto en el momento de pronación que actúa a través del eje de articulación subastragalina. El aumento neto en el momento de pronación que actúa a través del eje de articulación subastragalina nos conducirá a un pie que descansa en una posición más pronada en posición de apoyo y tiene más probabilidades de que resista el momento de supinación cuando los momentos de supinación (como cuando se intenta supinar el pie con una ortesis plantar) actúen sobre él. (3, 4, 5)

La desviación lateral del eje de articulación subastragalina tiene un efecto opuesto de la desviación medial del eje de articulación subastragalina. Un pie con el eje lateralmente desviado tiene un aumento en el momento de brazo para que la fuerza reactiva del suelo produzca un momento de supinación en el

tubérculo calcáneo medial y tiene una disminución en el momento de brazo para que la fuerza reactiva del suelo produzca un momento de pronación sobre el antepié lateral (*Fig.5*). El resultado del aumento neto en el momento de supinación nos conducirá a un pie que descansa en una posición más supinada en posición de apoyo, que tiene más probabilidad de que experimente un momento de supinación cuando los momentos de supinación actúan sobre él, este tipo de pie más inestable lateralmente.

Un punto muy importante con respecto a la posición espacial del eje de la STJ, es que la ubicación espacial del eje de la STJ cambiará de forma relativa a la planta del pie, a medida que el pie sea sometido a movimientos de supinación y pronación, durante las actividades de carga. En otras palabras, como la posición rotacional de la articulación de STJ cambia, la proyección del eje de la STJ relativa a la superficie plantar del pie, también cambia.

A medida que el pie prona sobre la STJ, el eje de la STJ rota internamente y se traslada medialmente relativo a la planta del pie. A medida que el pie supina en la STJ, el eje de la STJ rota externamente y se traslada lateralmente relativo a la planta del pie (*Figura 6*). Como el eje de STJ está determinado por la forma de las facetas articulares de la STJ, entonces cuando el astrágalo se mueve relativo al suelo durante la rotación de STJ, el eje de la STJ tenderá a seguir los movimientos de punto de salida del eje de la STJ del astrágalo y del calcáneo. De ahí que, cuando el astrágalo rota externamente el eje de STJ también rotará externamente y cuando el astrágalo rote internamente el eje de STJ también rotará internamente. Debido a la habilidad de proyección del eje de STJ al cambio de posición, es posible que el eje pueda rotar a una ubicación espacial donde toda la planta del pie esté ubicada medial al eje de la STJ, lo que podría causar que las fuerzas de reacción de tierra (GRF) ejerzan un momento de supinación o viceversa (*Figura 7*). (4, 5)



## **ALTERACIONES DEL ANTEPIÉ EN EL PLANO FRONTAL**

En la década de los 70, el Dr. Root y colaboradores, realizaron una clasificación donde aparecía una serie de requisitos anatómo-biomecánicos denominados criterios de normalidad sobre la alineación de la extremidad inferior, los cuales marcaban las líneas de diagnóstico para la patología del pie.

Cuando un paciente que era examinado no reunía algunos de estos parámetros, era clasificado con un tipo de pie, el cual predisponía a sufrir ciertos síntomas y signos.

Uno de los requisitos de estos criterios de normalidad para la función normal del pie, era que el antepié plantar sería paralelo a la parte plantar del retropie, en posición neutra de la articulación subtalar.

Dicha posición o maniobra para determinar este parámetro fue denominada *Maniobra de Root, (Fig. 8)*, por lo que cuando se le realizaba esta prueba al paciente y no se observaba esta posición, se le diagnosticaba de antepié varo, antepié valgo, como deformidades en el plano frontal, o antepié abducto y antepié aducto, en el plano transversal. (6)

### ***Recuerdo patomecánico de las deformidades en el plano frontal del antepié***

La deformidad de antepié varo ha sido una base importante en el desarrollo del modelo mecánico de Root. La presencia de esta deformidad y su patomecánica, se ha relacionado durante estos últimos 30 años con alteraciones sobre la articulación mediotarsiana, concretamente sobre el eje longitudinal de dicha articulación.

En cadena cinética cerrada, cuando observamos un paciente que se encuentra pronado sobre la STJ en posición relajada, puede deberse a múltiples factores.

De los factores mas frecuentes es que, coexista una posición de varo en el antepié cuando realizamos la maniobra de Root.

Ésta interrelación entre hiperpronación subtalar y deformidad de antepié varo o supinado, ha formado parte de la esencia de la biomecánica durante estos últimos años.

En los trabajos desarrollados por el Dr. Root y sus colaboradores podemos leer cómo la condición patológica de pronación subtalar en apoyo se debe entre otras causas a una deformidad de varo del antepié de caracter congénita, por una carencia en el proceso de desrotación del cuello astragalino durante el periodo ontogénico y como, una condición de hiperpronación subtalar mantenida en el tiempo, puede llegar a producir un deformidad de antepié supinado (adaptación de partes blandas), ambas patologías de relacionan con un estado de pronación subtalar patológica.

Actualmente la clasificación mas aceptada por la comunidad podológica sobre la terminología para hablar de deformidades en el plano frontal del antepié, la desarrollan y debaten el Dr. Kidd y el Dr. Kirby en sus trabajos. El término mas apropiado sería hablar de deformidades invertidas o evertidas del antepié, ya que se cuestiona que la deformidad de antepié varo no está del todo bien investigada para aceptarla como patología de origen congénito y ontogénico, así como, la pobre fiabilidad que tiene las maniobras diagnósticas que lo confirman. Por otro lado, cabe resaltar, la evidencia de que clínicamente son muy similares, es decir, resulta extremadamente complejo diferenciar entre antepié supinado y antepié varo desde un punto de vista clínico. (5, 6, 7, 8, 9) Con el fin de explicar cómo el antepié puede adaptarse al retropié en condiciones de apoyo, el Dr. Root desarrolla en sus trabajos que dicha capacidad la confiere, la gran movilidad que adquiere el antepié si moldeamos su biomecánica por medio de la existencia de 2 ejes.

A través del eje longitudinal de la mediotarsiana y de su eje oblicuo, el antepié es capaz de desarrollar movimiento en los tres planos corporales de movimiento

y con ello obtiene la capacidad de adaptarse a las irregularidades del terreno, al movimiento y posición del retropié, etc. (6)

La veracidad de estas afirmaciones ha sido cuestionada en diversos trabajos, entre los que podemos citar los llevados a cabo el Dr. Kidd y Cristhian Nester. (7, 8, 9, 10, 11)

Las líneas de investigación que están llevando a cabo sobre el origen y biomecánica de estas deformidades invertidas del antepié concluyen en las siguientes interpretaciones: por un lado la etiología y diagnóstico de la deformidad de antepié varo y por otro lado, la formación de un antepié supinado por adaptación de partes blandas sobre el eje longitudinal de la articulación mediotarsiana.

Respecto a la etiología de la deformidad de antepié varo, cabría preguntarse si realmente se debe a una falta de desrotación del cuello astragalino.

Numerosos estudios ponen en cuestión esta afirmación, en 1987 Mc Poil y sus colaboradores realizaron un estudio con el fin de apoyar la hipótesis que relacionara la torsión de la cabeza talar con la relación entre el antepié y retropié. Los resultados de dicho estudio no encontraron una asociación entre estos parámetros y por lo tanto dichos autores no pudieron apoyar esta hipótesis. (7, 12)

Por otro lado, se pone de manifiesto la fiabilidad de la maniobra de Root como prueba diagnóstica de dicha deformidad. En la maniobra de Root, para el diagnóstico de las alteraciones del antepié, observamos la relación entre el plano plantar del antepié y la bisectriz posterior del calcáneo (dicha bisectriz, representa la forma plantar del calcáneo, ya que ésta última no es accesible ni medible anatómicamente desde un punto de vista clínico), en condiciones normales, el plano plantar del antepié debería estar paralelo al plano plantar del calcáneo. En presencia de un antepié varo dicha relación queda invertida. (7).  
(Fig. 9)

¿Mide realmente dicha maniobra lo que queremos diagnosticar? ¿Existe una asociación constante entre la bisectriz posterior del calcáneo y el plano plantar del calcáneo?

En un estudio llevado a cabo por el Dr. Kirby en 1988, en el cual se realizaron y estudiaron 100 radiografías de 100 pies, se observó que no se daba un relación entre la bisectriz posterior del calcáneo y la forma plantar del calcáneo.

Otro de los aspectos más controvertidos sobre las deformidades invertidas del antepié, es la causa del antepié supinado, la adaptación de partes blandas en un posición invertida sobre el eje longitudinal de la articulación mediotarsiana tras un estado de hiperpronación mantenida en el tiempo descrita por diversos autores como Root en 1970, Sgarlato en 1971, Seibel en 1988, Valmasy en 1996, etc. (6, 13, 14).

Para que este acontecimiento biomecánico se lleve a cabo, la articulación subtalar y el eje longitudinal de la articulación mediotarsiana, deben de moverse independientemente. Cinemáticamente hablando, esto es imposible por varios aspectos como por ejemplo: a) debido a la fuerte unión ligamentosa entre el escafoides y el cuboides: es imposible desde un punto de vista cinemático que el escafoides realice un movimiento de inversión mientras el cuboides realice un movimiento de eversión durante la pronación en cadena cinética cerrada; b) el astrágalo y el calcáneo forman parte al mismo tiempo de la articulación subtalar y mediotarsiana, por lo que la fijación o disminución del movimiento de una de ellas, detendría el movimiento en la otra; c) limitado rango de movimiento en inversión sobre el eje longitudinal de la mediotarsiana para permitir al antepié invertir sobre el retropié en condiciones de apoyo. (5, 10, 11, 15, 16, 17, 18).

Por lo tanto, es muy improbable que la adaptación de partes blandas que justifica la formación del antepié supinado, se de entre las articulaciones talonavicular y calcaneo-cuboidea.

El rango de movimiento en la articulación talo-navicular esta bastante limitado mientras la articulación subtalar permanece inmóvil, debido a la fuerte unión ligamentosa originada desde el calcáneo y el cuboides, la cual tiende a limitar tanto los movimientos de rotación y traslación por parte del escafoides.

De hecho recientes trabajos realizados por Mc Poil y Hudson, ponen de manifiesto el llamado mecanismo de contención mediotarsal, en el cual, el calcáneo, escafoides y cuboides actúen como una única unidad funcional en relación al astrágalo. (16, 17).

En 1989, Ouzounian y colaboradores, realizaron un estudio in Vitro, donde midieron el rango de movimiento de las articulaciones tarsales, tarsometatarsales y cuneometatarsales durante movimientos en los tres planos corporales. Alguna de las conclusiones de este interesantísimo estudio revela que la capacidad que tiene el antepié para adaptarse a los movimientos y posiciones del retropié viene dada por la gran capacidad que poseen las articulaciones tarsometatarsales en el plano sagital, es decir, los rangos de flexión plantar y dorsal que tienen las articulaciones intermetatarsales. En el caso de un antepié supinado correspondería a una excesiva carga de forma crónica en las cabezas metatarsales mediales, traducido en un incremento de los momentos dorsiflexores sobre la columna interna de forma prolongada en el tiempo asociado a un incremento de momentos pronadores continuo sobre el eje de rotación subtalar. (19)

Recientemente esta afirmación ha sido corroborada por un estudio realizado en el 2007 por Nester y colaboradores. (20)

## **EFFECTO DE LAS DEFORMIDADES DEL ANTEPIÉ SOBRE LA LOCALIZACIÓN ESPACIAL DEL EJE DE ROTACIÓN SUBTALAR**

Dado que la planta del antepié está expuesta a la fuerza reactiva del suelo en las actividades que soporten peso, la posición relativa de todas las estructuras del antepié plantar respecto a la localización del eje de rotación subtalar, tiene un efecto muy importante en la biomecánica del pie y de la extremidad inferior. Debido a los movimientos de traslación y rotación del eje sobre las estructuras que soportan peso en el antepié durante los movimientos de pronación y supinación, dichos movimientos tendrán un efecto importante en los momentos del brazo de palanca que las fuerzas reactivas del suelo junto con las acciones musculares, van a tener sobre la condición de equilibrio sobre la articulación subtalar y en concordancia, con la mecánica del pie.

### ***Efectos cinéticos de las deformidades en el plano transversal del antepié***

En un pie normal ( pie donde el eje de rotación subastragalino va desde la parte posterolateral y plantar del calcáneo en dirección medial y ascendente hasta aproximadamente el primer espacio intermetatarsal, ligeramente lateral a la cabeza del primer metatarsiano) la posición del eje de rotación sobre el antepié plantar, ocasiona que la fuerza reactiva del suelo provoque un leve momento de supinación sobre la articulación subtalar ya que la fuerza reactiva del suelo que actúa sobre la cabeza del primer metatarsiano incide ligeramente medial a la posición del eje. (Fig. 10).

A medida que el paciente realiza un movimiento de pronación el astrágalo rotará internamente y se trasladará medialmente en relación a las estructuras del antepié plantar, quedando en esta ocasión medial a la cabeza del primer metatarsiano, por lo que el efecto que tendrá la fuerza reactiva de suelo sobre

dicha cabeza metatarsal, será el de ocasionar un momento de pronación sobre el eje de rotación subtalar y en conjunto, sobre el balance de momentos de supinación y pronación (tanto en magnitud del momento, dirección y tiempo que actúa el momento de fuerza) que afectará a la correcta función del pie.

Si el paciente realiza un movimiento de supinación, ocurrirán los mismos acontecimientos pero inversamente. (*Fig. 11*)

Es obvio pensar que las desviaciones estructurales del antepié en el plano transversal influyen en la proporción de momentos que se están dando sobre el eje de rotación subtalar y como esto puede alterar la biomecánica normal del pie en condiciones de apoyo.

Como deformidades en el plano transversal del antepié tenemos el antepié aductus y el antepié abductus. Ambas patologías como entidades solitarias, son menos comunes clínicamente que las deformidades en el plano frontal, pero asociadas a otras alteraciones, intervienen de igual forma en la correcta biomecánica del pie.

En el caso de que un paciente tenga un antepié aductus respecto a una alineación normal del antepié, la proporción de momentos de fuerza se verá alterada. En un antepié aductus las cabezas metatarsales mediales se desvían medialmente en relación a la localización espacial y anatómica del eje subtalar. Esto conlleva que aunque la localización espacial del eje respecto al retropie sea constante y no cambie, los cambios estructurales en el plano transversal como un antepié aductus, afecte al balance de momentos de pronación y supinación y por lo tanto cambie la respuesta biomecánica del pie para resistir tanto las fuerzas internas como externas generadas sobre él.

En este tipo de pies, el balance neto de momentos de fuerza aplicados sobre el eje de rotación, desencadenará un aumento en la proporción de momentos supinadores, lo cual hará que dicho pie se comporte mecánicamente como un pie con predisposición al momento supinador constante, es decir, un pie donde se observará un stress tanto tensil como compresivo de todas aquellas

estructuras anatómicas que mantienen un equilibrio de momentos por medio de la producción de momentos pronadores y que se traducirá en quejas por parte del paciente. (3, 5). *(Fig. 12)*

En el caso contrario, en un pie con una deformidad estructural de antepié abductus, observaremos un cambio de la posición del antepié respecto a la localización del eje de rotación subtalar.

En este caso, las estructuras como el antepié plantar medial (primera y segunda cabeza metatarsal) quedaran localizadas en una posición mas lateral en un pie normal. Esto ocasiona que prácticamente todo el antepié plantar se comporte como estructura pronadora. La fuerza reactiva del suelo que actué sobre las cabezas metatarsales mediales dará lugar un momento de fuerza pronador y por otro lado la fuerza que actué en el antepié plantar lateral (tercer, cuarto y quinto metatarsiano) obtendrá un mayor brazo de palanca para producir un momento pronador de mayor magnitud.

La condición de perdida de equilibrio dada por la presencia de dicha deformidad, dará lugar a un aumento del stress tensil en estructuras músculo-ligamentosas y un stress compresivo en estructuras óseas, con el fin de proporcionar momentos supinadores extras o residuales que intenten equilibrar la magnitud de los momentos pronadores originados por la presencia del antepié abductus.

Algunas de las estructuras anatómicas que aumentaran su trabajo intrínseco podrán ser por ejemplo el músculo tibial posterior, la fascia plantar, etc. (3, 5). *(Fig. 13)*

### ***Efectos cinéticos de las deformidades en el plano frontal del antepié***

Dentro de este apartado encontramos dos deformidades bastante frecuentes como hallazgos clínicos. Dichas alteraciones son las deformidades del antepie invertidas y las deformidades del antepié evertidas.



Cuando en la práctica clínica observamos a pacientes que en posición relajada se encuentran en una posición pronada, (generalmente pacientes que tienen su articulación subtalar cerca de una posición máximamente pronada) suelen acompañarse de deformidades invertidas del antepié, seguramente por adaptaciones crónicas sobre las estructuras que conforman la columna interna, denominado antepiés supinados.

Desde un punto de vista cinético y analizando las fuerzas del suelo que interactúan con el antepié plantar, es obvio que las deformidades invertidas del antepié causan un exceso de momentos pronadores sobre el eje de rotación subtalar. (5)

Este exceso de momentos pronadores se debe a una simple razón, a medida que el antepié va colocándose en una posición invertida, nos encontraremos con una distribución irregular de las cargas procedentes del suelo sobre el antepié plantar, es decir, habrá un incremento de fuerzas reactivas del suelo sobre las cabezas de tercer, cuarto y quinto metatarsiano y nos encontraremos ante una columna interna con escasa o nula fuerza reactiva del suelo actuando sobre ella. (4, 5).

De esta forma, en un paciente con una posición invertida del antepié, su articulación subtalar pronará, si tiene rango suficiente de movimiento, hasta que las cabezas metatarsales mediales se conviertan en estructuras que soporten peso del suelo, en este momento, la magnitud del momento pronador proveniente del incremento del peso sobre las cabezas metatarsales laterales, irá disminuyendo hasta alcanzar la condición de equilibrio rotacional sobre la articulación subtalar. En este proceso también cabe resaltar la importancia de todas aquellas estructuras blandas como la fascia plantar, el músculo tibial posterior, el suelo del seno del tarso o tensiones ligamentosas, las cuales desarrollaran un incremento de su stress tensil o compresivo intrínseco, con el fin de resistir ese momento pronador. (4, 5)

La gran variedad de sintomatología que existe en pacientes con deformidades de antepié invertidas, estará directamente relacionada de aspectos como la cantidad de fuerza reactiva del suelo que estén soportando tanto las cabezas metatarsales como las laterales, el rango de movimiento disponible en la articulación subastragalina en dirección a la pronación, la capacidad que tengan las estructuras ligamentosas y tendinosas a resistir esas fuerzas anómalas por medio de su comportamiento visco elástico no lineal, la capacidad de contracción que tengan las estructuras musculares afectadas como el tibial posterior, el grado de deformidad en inversión del antepié, etc.

Por ejemplo, si la articulación subtalar dispone de un limitado rango articular (el calcáneo queda perpendicular al suelo o ligeramente invertido en estados de máxima pronación y en posición relajada), nos encontraremos ante un incremento del peso del suelo sobre las cabezas metatarsales laterales, dando lugar a la aparición de tilomas plantares bajo cuarto y/o quinto metatarsiano, bursitis subcapitales, deformidades de Taylor Bunion e incluso síndromes del seno del tarso. (Fig. 14)

En el caso contrario, si la articulación subtalar tiene un rango de movimiento excesivo de pronación, las cabezas metatarsales desarrollaran un incremento de las fuerzas reactivas del suelo, pudiendo ocasionar procesos de fascitis plantares proximales, bursitis subcapitales del primer y segundo metatarsiano, hallux limitus-rigidus, etc. (4, 5). (Fig. 15)

En el caso de las deformidades evertidas del antepié, como es el antepié valgo, ocurre algo similar o idéntico desde el punto de vista cinético.

Hasta ahora, el proceso de compensación mas aceptado por la comunidad podológica en la deformidad de antepié valgo flexible, era el movimiento de inversión existente sobre el eje longitudinal de la articulación mediotarsiana, lo cual confería al antepié colocarse en una posición mas paralela al suelo con el consiguiente correcto reparto de cargas sobre el antepié plantar.

Para que esta situación ocurra, el eje longitudinal de la articulación mediotarsiana debe de moverse independientemente de la articulación subastragalina y dicha compensación no es compatible con las leyes físicas aplicadas al pie.

La respuesta correcta a la explicación de esta compensación, contemplaría la existencia de un mecanismo de Windlass Invertido, lo cual confiriese al antepié, suficiente movilidad para adaptarse al suelo.

Este mecanismo ya fue descrito por primera vez en los trabajos del Jon Hicks, en el año 1954. Hicks describe cómo a medida que el pie afronta la fase de apoyo medio, se observa un movimiento de pronación en el retropie acompañado de una fisiológica caída del arco longitudinal interno, lo cual provocaría un aumento de la tensión en la aponeurosis plantar (mas acentuada en su inserción del hallux y complejo gleno-sesamoideo) que incrementaría el momento plantaflexor sobre el hallux o también llamada, fuerza de obtención digital.

Esta nueva situación, conferiría a las cabezas metatarsales mediales y laterales, un rango de movimiento extra, concretamente, en el plano sagital, para colocar al antepié plantar en una posición mas paralela al suelo y equilibrio de fuerzas en el pie. (5, 8, 21).

## **FUTURAS INVESTIGACIONES EN EL CAMPO DE LA BIOMECÁNICA**

Gracias a los trabajos realizados por autores como Kevin Kirby, Simon Spooner, Eric Fuller, Christian Nester, Bob Kidd, Thomas Mc Poil, etc, comenzamos a entender de una forma más razonada y a la vez sencilla, la compleja función del pie.

Tres de los aspectos mas importantes y necesarios para entender, asociando la sintomatología del paciente con la función incorrecta del pie, serían la

localización espacial del eje de rotación subtalar y su condición de equilibrio rotacional, la localización y magnitud del centro de presiones y el estudio físico-anatómico de todas aquellas estructuras que por medio de su tensión interna, resisten diversas fuerzas anómalas preservando así, la condición de ausencia o aparición de dolor.

En el año 2005, el Dr. Spooner en colaboración con el Dr. Kirby desarrollaron un aparato, llamado *Subtalar Locator*, que reproducía con una gran fiabilidad, el movimiento del eje de rotación subtalar y su localización espacial-anatómica en el pie del paciente y en condiciones de dinámica. (22)

Por otro lado, en 1999, el Dr. Eric Fuller, en uno de sus diversos trabajos, incorpora el concepto de centro de presiones aplicados a la mecánica del pie y relacionándolo con el concepto de equilibrio sobre el eje de rotación subtalar descrito por el Dr. Kirby. (23)

En 1995, Thomas Mc Poil, describe un modelo de stress de tejidos aplicado a la biomecánica del pie. En su trabajo desarrolla como el análisis de la tensión a la que esta sometida una estructura muscular, tendinosa, ligamentosa u ósea, esta directamente relacionada con la ubicación, magnitud y duración de la fuerza que esta actuando sobre las articulaciones del pie. (24)

## **CONCLUSIONES**

Es necesario incorporar al lenguaje del profesional, un conocimiento importante de conceptos físicos, los cuales, confieren a la podología una mayor capacidad de entendimiento de la cinética y cinemática del pie durante las actividades de carga y con ello, una mayor batería de alternativas terapéuticas para el tratamiento de las deformidades del pie.

Hemos intentado establecer una aproximación de la relación existente entre la presencia de diversas deformidades del antepié y la localización del eje de rotación subtalar, con el fin de proporcionar un mejor entendimiento de la

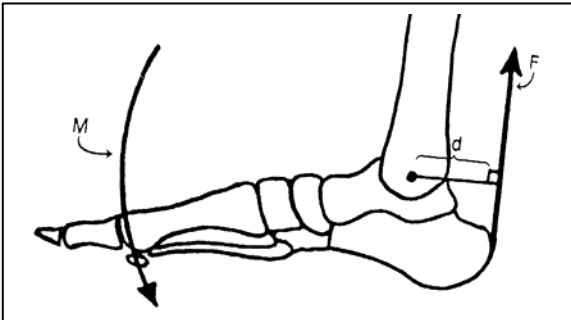
mecánica del pie y sintomatología que ocasiona la pérdida de condición de equilibrio de fuerzas sobre la extremidad inferior.

## **BIBLIOGRAFÍA**

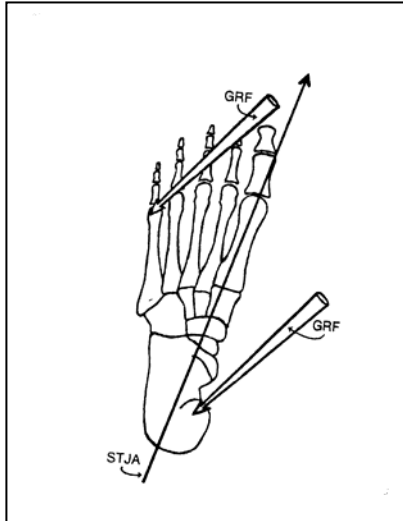
1. Kevin Kirby. " Rotational Equilibrium Across the Subtalar Joint Axis ". JAPMA. Volumen 79, Numero 1. January 1989.
2. Kevin A. Kirby. Methods for Determination of Positional Variatons in the Subtalar Joint Axis. JAPMA. Volumen 77. Numero 5, Mayo 1987.
3. Kevin Kirby. " Subtalar Joint Axis Location and Rotational Equilibrium Theory of Foot Function". JAPMA. Volumen 91, Numero 9. October 2001.
4. Kirby, KA: Foot and Lower Extremity Biomechanics: A Ten Year Collection of Precision Intricast Newsletters, Precision Intricast, Inc, Payson, Arizona, 1997.
5. Kirby K A: Foot and Lower Extremity Biomechanics II: Precision Intricast Newsletters, 1997-2002.
6. Root ML, Orien WP, Weed JH: Normal and Abnormal Function of the Foot. Clinical Biomechanics Corp, Los Angeles CA, 1977.
7. B Kidd : Forefoot Varus – real or false, fact or Fantasy? AJPM. Vol 31, 3, 1997.
8. Bob Kidd: Forefoot Supinatus: another fictitious pathology, or have we missed the point? Australasian Journal of Podiatric Medicine 2000; 34,3: 81-85
9. B Kidd: Gradualistic Evolution as expressed in the hominoid talus: Journal of British Podiatric Medicine 48: 171-174; 1993
10. Nester CJ, Findlow A, Bowker P. Scientific Approach to the Axis of Rotation at the Midtarsal Joint. JAPMA 91(2): 68-73, 2001.
11. Nester CJ, Bowker P. Bowden P: Kinematics of the midtarsal joint during standing leg rotation. JAPMA 92(2): 77-81, 2001.
12. Mc Poil T: Anatomical Characteristics of the talus in relation to forefoot deformities. JAPMA 77; 2, 77-81; 1987
13. Michael O. Seibel." Función del Pie. Texto Programado". 1988.
14. Ronald Valmasy. "Clinical Biomechanics of the Lower Extremities".1996.

15. Gomberg D: Functional Differences of the Three Ligaments of the Transverse Tarsal Joint in Hominoids. *Journal of Human Evolution* 14: 553-562; 1985.
16. Huson A: Biomechanics of The Tarsal Mechanism, a key to the Function of the Normal Human Foot. *JAPMA* 90(1): 12-17,2000.
17. Cornwall and Mc Poil: Motion of the Calcaneus, Navicular and first metatarsal during the stance phase of walking. *JAPMA* 92(2): 67-76,2002.
18. Van Langelaan EJ. A kinematical analysis of the tarsal joints. *Acta Orthop Scand* 54: Suppl. 204, 135-229, 1983.
19. Ouzounian TJ, Shereff MJ: In vitro determination of midfoot motion. *Foot & Ankle*, 10: 140-146, 1989
20. C.J. Nester, A.M. Liu, E. Ward. In vitro study of foot kinematics using a dynamic walking cadaver model. *Journal of Biomechanics* 40 (2007). 1927-1937.
21. Hicks JH: The Mechanism of the foot II: The Plantar Aponeurosis and the Arch. *Journal of Anatomy* 88: 25-31; 1954
22. Spooner, S.K and Kirby, K.A.: The Subtalar Joint Axis Locator. *JAPMA* 2006; 96(3), 212-219
23. Fuller, E.A.: Centre of pressure and its theoretical relationship to foot pathology. *JAPMA* 1999; 89, 278-291.
24. McPoil TG, Hunt GC.: Evaluation and Management of Foot and Ankle Disorders: Present Problems and Future Directions. *JOSPT*. Volume 21. Number 6. June 1995.

## **ICONOGRAFÍA**



*Figura 1: (F) es el vector de tracción del músculo gastronemio, (D) es la distancia que hay desde el punto de aplicación de la fuerza al eje de la articulación del tobillo y (M) es el momento planta flexor sobre el tobillo tras aplicar la fórmula matemática*



*Figura 2: Representación plantar de la localización espacial del eje de rotación subastragalino.*

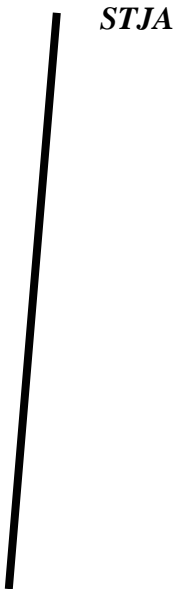




*Figura 3 y 10: Localización normal del eje de rotación subtalar descrito por el Dr. Kirby.*

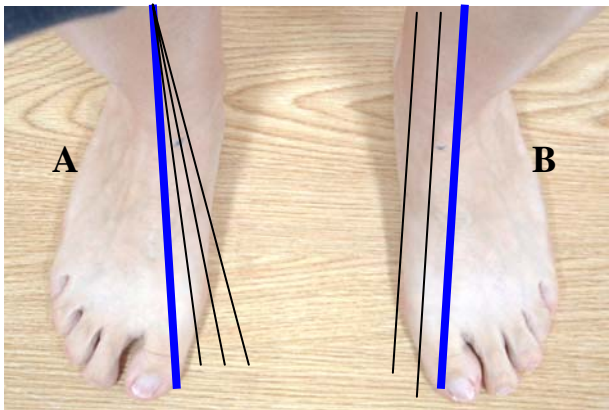


*Figura 4: Desviación medial del eje subtalar. Observar como el tubérculo plantar y medial del calcáneo y las cabezas metatarsales quedan en una posición mas lateral.*





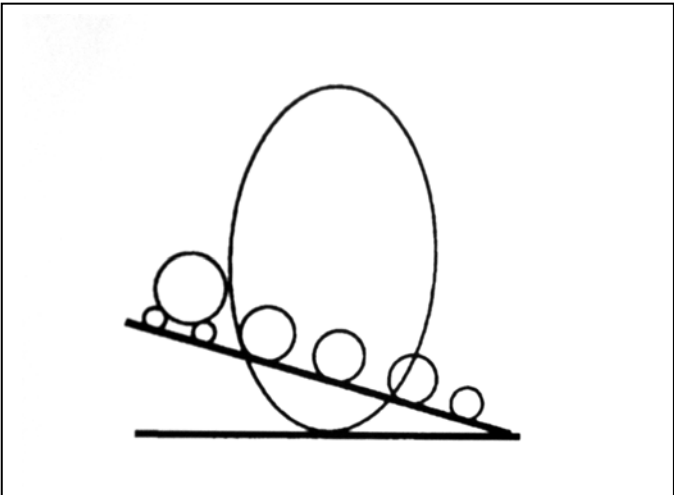
*Figura 5: Desviación lateral del eje subtalar. Observar como el tubérculo plantar y medial del calcáneo y las cabezas metatarsales mediales quedan en una posición mas medial.*



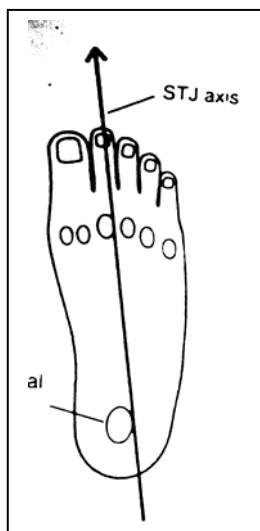
*Figura 6 y 7 y 11: Obsérvese los movimientos de rotación interna (A) y de traslación medial (B), que el eje de rotación subtalar realiza en relación a la superficie plantar del pie y el suelo en pies pronados. En pies supinados ocurre a la inversa.*



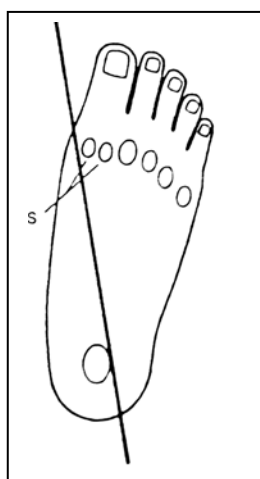
*Figura 8: M...*



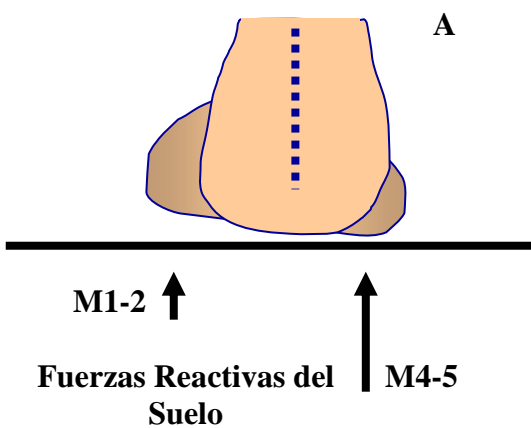
*Figura 9: Maniobra de Root. Obsérvese la posición invertida del*



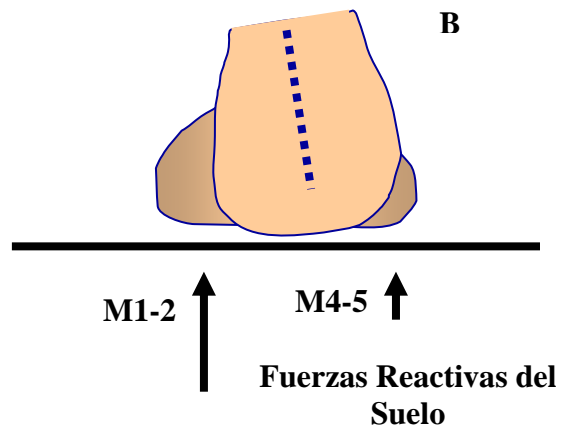
*Figura 12: Localización del eje de rotación subtalar en un pie con antepié aductus.*



*Figura 13: Localización del eje de rotación subtalar en un pie con antepié abductus.*



*Fig. 14: Deformidad de antepié invertido asociado a un rango articular subtalar limitado.*



*Fig. 15: Deformidad de antepié invertido asociado a un rango articular subtalar excesivo.*