CAPITULO 3

MECANICA PATOLOGICA DEL PIE Y DEL TOBILLO

INTRODUCCION

Las estructuras del cuerpo se hallan sometidas a fuerzas de considerable magnitud. Las más importantes de estas fuerzas son las debidas a la gravedad y a la actividad muscular. En circunstancias normales, el cuerpo humano puede soportar las fuerzas aplicadas a sus estructuras y los músculos pueden generar fuerzas necesarias para el sostén, equilibrio, locomoción y acción sobre objetos externos. Cuando no pueden soportar las fuerzas aplicadas, o no pueden ser generadas fuerzas suficientes para el normal funcionamiento, entonces existe una afección de mecánica anormal o mecánica patológica.

En algunas circunstancias los huesos, músculos y ligamentos pueden ser normalmente fuertes, pero puede prevalecer una afección mecánica patológica por ser aplicados pesos grandes no acostumbrados. Por ejemplo, una gran obesidad puede hacer que se desarrollen alteraciones de los pies, incluso aunque los pies no tengan ningún defecto en sí. En otras circunstan-

cias, las fuerzas aplicadas son nome males, pero las estructuras del cuerpo no son sencillamente capaces de poder con pesos normales. Un ejemplo de esta situación es la osteomalacia.

La mala colocación de las estructuras del cuerpo es, a la vez, causa y efecto de procesos mecánicos patológicos. La mala colocación

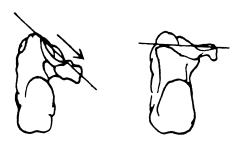


Figura 1 Figura 2

puede deberse a factores tales como forma anormal de los huesos, inadecuada resistencia al esfuerzo de los tejidos, o músculos débiles.

La forma anormal de los huesos puede deberse a trastornos del desarrollo o a traumatismos. La figura 1 representa la vista posterior del calcáneo de un gorila. El sustentaculum tali se halla considerablemente inclinado. En contraste, la figura 2 muestra una vista posterior del calcáneo de un hombre actual. El sustentaculum tali es casi horizontal. Esto es una importante adaptación a la locomoción vertical habitual. Si no se desarrolla la posición horizontal del sustentaculum tali, habrá una mala colocación del astrágalo así como del calcáneo. Esto originará una anormal distribución de las fuerzas sobre los huesos del pie.

Un ejemplo de mala colocación traumática puede ser la fractura del platillo tibial que consolide, quedando deprimida una mitad del platillo. En tal caso, el eje de la articulación de la rodilla no será horizontal, sino que se hallará inclinado. La inclinación tenderá a aumentar la compresión sobre las superficies articulares de un lado y a aumentar la tracción sobre los ligamentos colaterales del otro lado de la articulación de la rodilla.

La mala colocación puede ser causada también por mala resistencia a la tensión del hueso, ligamentos, cartílagos o fascias. En particular, en el pie el refuerzo ligamentoso juega un importante papel en el mantenimiento de la colocación de las articulaciones. Los ligamentos son considerablemente fuertes, con una resistencia a la tracción de hasta más de 60 Kg. por cm². De todas formas, hasta los ligamentos más resistentes pueden alargarse permanentemente si el peso que tienen que soportar tiene una duración excesiva. Una vez que se produce el alargamiento, se reducen las fuerzas restrictivas que mantienen la colocación normal; al desarrollarse la mala colocación, las fuerzas aplicadas a los ligamentos se incrementan, continuando y agravando el proceso mecánico patológico.

Los músculos débiles pueden contribuir a la afección mecánica patológica de dos formas: la primera, porque aunque los ligamentos constituyen la defensa estática contra la descolocación de las articulaciones, los músculos desempeñan un importante papel proveyendo el refuerzo dinámico requerido para poder resistir las tensiones relativamente grandes que aparecen al andar, correr y otras actividades. Si los músculos son inadecuados para esta tarea y no pueden hacerse cargo de una porción apropiada de la carga, entonces los ligamentos y los huesos se ven sujetos a tensiones anormalmente grandes y se establece una afección mecánica patológica. Una segunda forma por la que los músculos débiles contribuyen al problema, es que ofrecen una inadecuada resistencia a las fuerzas desarrolladas por los músculos antagonistas más fuertes, alterando así el equilibrio dinámico que existe

normalmente en torno a las articulaciones. Esto ocurre, por ejemplo, cuando los dorsiflexores débiles del tobillo permiten a los flexores plantares normales llevar el pie a una posición de flexión plantar.

El desequilibrio de las fuerzas que actúan en torno a una articulación no es siempre debido a debilidad muscular; el desequilibrio puede ser causado por músculos que ejercen fuerzas anormalmente grandes para el movimien to de que se trate. Esto se puede observar en algunos pacientes con parálisis cerebral. En estos pacientes se puede demostrar también otro factor mecánico patológico; se llama distribución inadecuada del tiempo de acción muscular. La dimensión del tiempo entra frecuentemente en muchos análisis mecánicos, de tal forma que no debe sorprender que se la mencione en un estudio de mecánica patológica. Los movimientos incoordinados del cuerpo que ocurren cuando los músculos actúan demasiado tarde o demasiado pronto, es tanto un problema mecánico patológico como la falta de movimiento voluntario que ocurre en la parálisis fláccida.

Al considerar las causas de la anormal aplicación de fuerza al cuerpo, se debe prestar atención a los factores de aceleración y frecuencia. Tanto las aceleraciones como las deceleraciones muy bruscas ocasionan fuerzas anormalmente grandes sobre las estructuras del cuerpo. Esto ocurre en las caídas y en los frenazos bruscos de automóvil, que pueden ocasionar lesión del cuello. Cargas que pueden ser toleradas por los tejidos si se aplican intermitentemente, pueden, en algunos casos, exceder la tolerancia si se aplican tan frecuentemente que los tejidos no tienen tiempo de descansar y recuperarse. Esto es posiblemente la causa principal de la llamada fractura de marcha.

Cuando existe una afección mecánica patológica, el tratamiento puede necesitar de:

- 1. Descanso, con o sin medicación, para permitir al cuerpo y a sus componentes recuperar su fuerza normal.
- 2. Ejercicio terapéutico para fortalecer los elementos debilitados.
- 3. Intervención quirúrgica para corregir las anormalidades de los elementos estructurales o motores.
- 4. Aplicación de fuerzas externas o contrafuerzas adecuadas al déficit estructural o motor. Las fuerzas externas pueden ser aplicadas me-

diante aparatos ortésicos metálicos o plásticos, moldes o zapatos correctores.

Un aparato ortésico cumple su finalidad mediante la aplicación de una fuerza o contrafuerza a alguna parte del cuerpo. La fuerza aplicada puede ser necesaria para ayudar a soportar peso o para mantener las diversas partes del cuerpo adecuadamente colocadas. En otros casos, la fuerza aplicada ayuda a controlar la velocidad y amplitud de los movimientos de los componentes del cuerpo. La palabra control es usada en un sentido amplio que incluye la ayuda o resistencia al movimiento, así como la restricción parcial o completa de la amplitud del movimiento. Al aplicar fuerzas y contrafuerzas de adecuada magnitud y dirección, un aparato ortésico ayuda a compensar el déficit motor o estructural, y colabora con las funciones de soporte, equilibrio, locomoción y movimiento en general. La comprensión de los principios de la mecánica patológica proporciona una base para la prescripción y evaluación de los aparatos ortésicos.

EL PIE COMO ESTRUCTURA DE SOSTEN

Todo el peso del cuerpo es transmitido a los huesos del pie, a través del astrágalo. En la posición de pie normal, aproximadamente la mitad del peso que soporta cada pierna, es transmitida al talón, y la otra mitad a las cabezas de los metatarsianos (figura 3).

Del peso distribuido en la parte delantera del pie, aproximadame $\underline{\mathbf{n}}$



Figura 3

Distribución relativa del peso estando de pie. Cada cuadro negro representa una unidad de peso.

te un tercio es soportado por la cabeza del primer metatarsiano, y el resto es distribuido por igual sobre las cabezas de los otros cuatro metatarsianos.

El modelo normal de distribución depende, en un alto grado, de la relación angular entre el astrágalo y el calcáneo (figura 4). Si la cabeza del astrágalo no recibe un adecuado sostén del calcáneo, la carga sobreyacente puede forzar el astrágalo hacia adentro y hacia abajo. Esto alterará la normal distribución del peso, sobrecargando el primer y segundo metatarsiano y someterá los ligamentos mediales a una gran tensión. El sostén insuficiente del astrágalo ocurre si el sustentaculum tali es estrecho o si la cabeza y el cuello del astrágalo se hallan alargados.

Una mala distribución del peso se puede deber también a la existen cia de un primer metatarsiano hiper móvil que no es capaz de proporcionar sostén suficiente para impedir



Eje del astrágalo Eje del calcáneo

Figura 4

la rotación hacia abajo y hacia adentro del calcáneo. La laxitud ligamentosa o la debilidad muscular, o una combinación de ambas, son otras posibles causas de alteración mecánica del ángulo óptimo entre astrágalo y calcáneo, dado que hasta los huesos normalmente configurados dependen de ligamentos y músculos para colocarse en sus posiciones adecuadas.

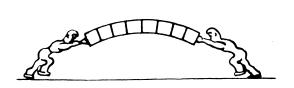
Un primer metatarsiano corto o hipermóvil no dando apoyo para la parte media del pie, puede producir una caída hacia abajo y una angulación medial del astrágalo y calcáneo, resultando una mala distribución de fuerzas en el pie.

Los mecanismos del arco y de la viga

Para soportar el peso del cuerpo, las estructuras del pie funcionan de forma análoga a un arco y una viga.

Un arco es un elemento estructural curvo que se tiende sobre un vacío y que es capaz de soportar un peso por encima de ese vacío. Una característica esencial de un arco es que el peso soportado tiende a aplanar el arco, forzando a apartarse a sus extremos. La capacidad del arco de soportar peso depende de la presencia de una fuerza frenadora que impida que los extremos se separen uno de otro (figuras 5 y 6).

Cuando un arco sostiene una carga, los componentes del arco se hallan todos sometidos a compresión. Si las fuerzas que frenan los extremos del arco ceden, los componentes del arco se separarán por su parte inferior y las porciones superiores de los componentes deberán soportar una mayor



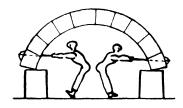


Figura 5

Figura 6

presión (figura 7).

Si se ve el pie en un plano sa gital, las cabezas de los metatarsianos y el talón corresponderán a los dos extremos de un arco. La aponeurosis plantar es la encargada de mantenerlos unidos. Sirve para impedir que el talón y los metatarsianos se separen y es ayudada en su función durante la deambulación por los músculos flexores plantares largos.

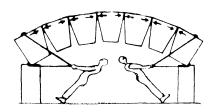


Figura 7

Cuando el arco longitudinal se aplana hasta un grado apreciable, aumenta la presión en las porciones dorsales de los huesos del tarso. En el pie normal, ligamentos y músculos limitan el aplanamiento del arco.

Además del mecanismo del arco, el pie utiliza también del principio de la viga. Una viga es un elemento estructural capaz de sostener una carga perpendicular a su eje mayor. Cuando una viga se halla cargada, se dobla (figura 8). Su parte superior experimenta una compresión y su parte inferior una distensión. Esto es verdad, sea la viga sin cargar, recta o curva.

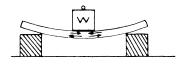


Figura 8



Figura 9

La figura 9 representa una serie de bloques unidos entre sí por correas flexibles sujetas a sus superficies inferiores. Cuando esta estructura semejante a una viga es muy recargada, se curva, alargando las correas situadas en la parte inferior, y sometiendo las porciones superiores de los bloques a compresión. A veces el pie es capaz de actuar como una viga, dispuesta en segmentos, como la figura 9.

Estando de pie normalmente, la aponeurosis plantar, junto con los ligamentos, permite al pie funcionar como un arco o una viga, en orden a sostener el peso del cuerpo, con una mínima ayuda muscular. Durante la marcha, sin embargo, la carga aplicada al pie se ve muy aumentada, necesitándose ayuda por parte de los músculos. La magnitud de la carga aumentada puede apreciarse si nos fijamos en que durante la mayor parte de la fase de apoyo, todo el peso del cuerpo recae sobre un pie, y durante parte del período de arranque, todo el peso del cuerpo descansa sobre las cabezas de los metatarsianos de un pie.

Sea el pie concebido como una estructura en arco o como una estructura en viga, la sobrecarga tiene esencialmente el mismo efecto general. Los ligamentos se ven sometidos a una distensión aumentada. En la medida en que ceden, aunque sea ligeramente, porciones de los huesos contiguos se ven sometidos a una mayor compresión. En circunstancias normales, las grandes cargas aplicadas al pie son intermitentes y distribuidas sobre huesos, ligamentos, tendones y músculos. En estas condiciones, las fuerzas aplicadas no exceden la tolerancia de los tejidos. De cualquier modo, si los ligamentos son laxos o los músculos no son lo suficientemente fuertes como para poder con cargas pesadas intermitentes, o si los ligamentos y los músculos tienen una fuerza normal pero se hallan sometidos a sobrecarga prolongada, los músculos se fatigan y el límite elástico de los tejidos ligamentosos puede ser excedido, con la consecuente descolocación y desarrollo de una afección mecánica patológica crónica.

Las correcciones del zapato proporcionan un medio de compensación mecánica para la incapacidad de las estructuras del pie para mantener la colocación de sus elementos o para sostener las cargas que le sean impuestas.

En la figura 10 se muestra un ejemplo. Si el tobillo y el pie no tienen una colocación correcta, se puede utilizar una cuña para aplicar una contrafuerza que tenderá a rotar el pie en la dirección deseada para mejorar la alineación, o al menos para impedir el avance de la descolocación. Otro ejemplo es el uso de un soporte bajo el arco longitudinal del pie cuando su estructura se ve sobrecargada.

Además de proporcionar fuerzas y contrafuerzas para ayudar al pie en su papel como estructura de sostén, los aparatos mecánicos pueden también proporcionar fuerzas y con-

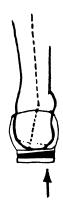


Figura 10

trafuerzas para controlar los movimientos del pie y del tobillo. Cuando existen alteraciones mecánicas patológicas, el control de los movimientos del pie y del tobillo es importante para contribuir a prevenir, tanto la deformidad como la pérdida de la capacidad funcional.

El eje del movimiento del tobillo

Se han descrito dos ejes de movimiento para la articulación del tobillo, uno para la dorsiflexión y otro para la flexión plantar. Para los propósitos de esta exposición de mecánica patológica y de aplicación de férulas, no es necesaria la diferenciación entre estos dos ejes, ya que en realidad son casi coincidentes. Cuando se está de pie, se puede considerar que el eje del tobillo es esencial—

mente horizontal a nivel del extremo distal del maléolo interno y cer
ca de 25 grados en rotación externa, en relación al eje de la rodilla, cuando el eje de la rodilla se
halla en un plano frontal (figura 11).



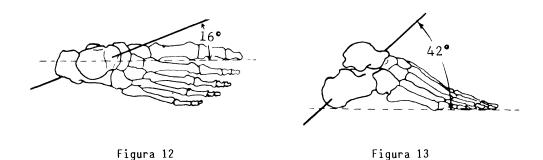
Figura 11

La gran amplitud del movimiento en la articulación del tobillo es normalmente, desde unos 20 a 30 grados en dorsiflexión, y de 30 a 50 grados de flexión plantar.

El eje subastragalino

El eje subastragalino sigue una dirección oblicua. Desde la parte me-

dial del pie, va hacia abajo y hacia atrás, hacia el borde lateral del pie, formando un ángulo de aproximadamente 16 grados con el eje longitudinal del pie (figura 12), y 42 grados con el plano horizontal (figura 13).



El movimiento tiene lugar en un plano perpendicular al eje de la articulación. A causa de la oblicuidad del eje subastragalino, a veces existe confusión cuando los movimientos alrededor del eje son referidos a los planos de referencia frontal, sagital y horizontal convencionales. El movimien to subastragalino tiene siempre componentes simultáneos en los tres planos de referencia. En cualquier descripción, por tanto, será necesario definir con toda precisión los términos usados. En el apéndice se da una definición de los términos.

DEFORMIDADES SENCILLAS

Las deformidades del pie y del tobillo pueden ser debidas a malformación congénita, traumatismo, desequilibrio muscular, o debilidad de los elementos estructurales a causa de una enfermedad.

Los estados iniciales de una deformidad se caracterizan usualmente por una mayor tensión de los ligamentos y los músculos, mientras estos tejidos intentan mantener la mejor alineación dinámica que permiten las circunstancias. Mientras el pie permanezca flexible, las fuerzas externas proporcionadas por ortesis y correcciones del calzado pueden ayudar a restaurar y mantener los elementos estructurales en una buena alineación o, por lo menos, impedir la progresión de la deformidad. Si la deformidad es fija, entonces las contrafuerzas aplicadas por un aparato ortésico o por el zapato pueden ayudar a obtener una óptima distribución del peso por el pie, pero puede ser incapaz de realinear las estructuras.

Aunque una articulación determinada puede ser el asiento inicial de la afección mecánica patológica, casi invariablemente se afectan también otras articulaciones, debido a la compleja disposición articular del pie y del tobillo. Cuando una articulación se descoloca, normalmente tienen lugar ajustes compensatorios en las demás articulaciones. Esto es cierto sobre todo por lo que se refiere a la mutua relación existente entre las partes posterior y anterior del pie.

Es útil para los fines de nuestro análisis considerar primero ciertos modelos básicos de deformidad que pueden existir por separado, aunque es más frecuente verlos formando combinaciones diversas. Los elementos de deformidad que vamos a considerar son:

- 1. Pie equino
- 2. Pie talo
- 3. Pie valgo
- 4. Pie varo
- 5. Pie cavo

Pie equino

Cuando existe una deformidad en equino, el pie adopta una posición de flexión plantar. La deformidad se produce por la acción de fuerzas desequilibradas en torno a la articulación del tobillo. Durante el desarrollo de la deformidad, el momento de fuerza que tiende a producir la rotación del tobillo en dirección a la flexión plantar, suele ser mayor que el par de torsión opuesto a esta flexión plantar.

Las fuerzas pueden desequilibrarse porque los músculos dorsiflexores sean débiles. O bien los dorsiflexores pueden tener la fuerza normal, pero las contrafuerzas ejercidas por los músculos de la pantorrilla y los tejidos blandos de la parte posterior de la pierna ser mayores de lo normal. Por ejemplo, un paciente puede andar de puntillas para compensar una extremidad inferior acortada. Inicialmente la posición en equino sería mantenida por la contracción activa del sóleo y los gemelos, pero al desarrollarse la deformidad, sería cada vez más necesaria la contracción del tendón de Aquiles y de otros tejidos blandos. Cicatrices o heridas en la parte posterior de la pierna que produzcan retracción de los tejidos de la zona, pueden ser la causa de que el pie se vea arrastrado a una posición de equi-

no.

La posición en equino cambia considerablemente la distribución del peso en el pie. Las cabezas de los metatarsianos se ven sometidas a una presión mayor de lo normal. Cuando se descarga el peso crónicamente sobre un pie equino, la afección mecánica patológica puede afectar no sólo al pie y al tobillo, sino también a la articulación de la rodilla, dado que la reacción del suelo pasa a una distancia mayor de lo normal por delante de la articulación de la rodilla durante parte de la fase de apoyo, y tiende a forzar a la rodilla a una posición de genu recurvatum.

En algunos casos, sólo se necesita una pequeña ayuda para restaurar el equilibrio dinámico de los momentos de fuerza de dorsiflexión-flexión plantar. Esto puede conseguirse frecuentemente mediante un dispositivo de resorte colocado en un aparato ortésico. Este principio es ilustrado en las figuras 14 y 15. En la figura 14, el momento de fuerza generado por los dorsiflexores es insuficiente para impedir que el pie caiga en equino. En la figura 15, se ha colocado un resorte, y su acción contribuye a compensar el déficit dorsiflexor.



En otros casos, un resorte no es lo suficientemente fuerte para este trabajo, y se coloca un tope en el aparato para limitar o impedir la flexión plantar. El efecto mecánico del tope es similar al obtenido mediante artrodesis quirúrgica en la deformidad en equino.

Pie talo

Cuando existe esta deformidad, los dedos se hallan elevados, y la mayor parte del peso recae sobre el talón. Las fuerzas actuantes en torno a la articulación del tobillo se hallan desequilibradas, casi siempre debido a parálisis de los músculos de la pantorrilla. La mecánica patológica

correspondiente y la asistencia mecánica que puede proporcionarse, serán explicadas en la sección que trata de los efectos especificos de la debilidad o la parálisis del tríceps sural (sóleo y gemelos).

Pie valgo

Cuando existe esta deformidad, la planta del pie mira hacia afuera y el paciente anda sobre el borde interno del pie. La mecánica patológica de esta afección consiste en momentos de fuerza desequilibrados que rotan la parte posterior del pie.

Cuñas en el calzado pueden contribuir a proporcionar una contrafuerza a la porción plantar medial del pie, como se representa en la figura 16.

Aplicando una fuerza en la dirección indicada por la flecha en la figura 17, mediante un aparato orté sico, a través de una correa, se puede mantener la alineación de la pierna y el pie. Esto ayuda a evitar la progresión de la deformidad.

Pie varo

Cuando existe esta deformidad, la planta mira hacia adentro y el paciente anda sobre el borde externo del pie. Fuerzas desequilibradas rotan el pie alrededor del eje subastragalino, hacia adducción y supinación.

Cuando un aparato ortésico proporciona una contrafuerza en la dirección indicada por la flecha en la figura 18, ayuda a mantener una mejor alineación y a reducir la tensión en las estructuras del pie. Esta fuerza suele aplicarse mediante una correa. Las correcciones del

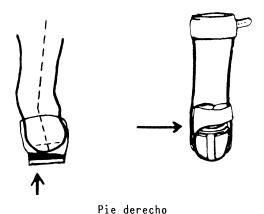
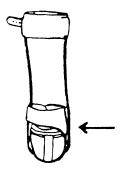


Figura 16

i Figura 17



Pie derecho

Figura 18

calzado que ejercen una contrafuerza en la porción plantar lateral del zapato, ayudan también a resistir a la progresión de la deformidad.

Pie cavo

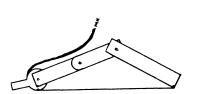
La deformidad en cavo se caracteriza por la elevación excesiva del arco longitudinal.

La alteración mecánica patológica consiste esencialmente, en que los músculos y la fascia de la cara plantar del pie ejercen una fuerza mayor de lo normal, como resultado de una retracción tendinosa y de la fascia.

Cuando la retracción de los tejidos blandos lleva al pie a una posición en cavo, se instaura un círculo vicioso. Al desarrollarse la posición en cavo, el aumento de angulación del dorso del pie hace que aumente la distancia entre el origen y la inserción de los extensores de los dedos. A causa de esto, los tendones extensores colocan a los dedos en una posición de hiperextensión a nivel de las articulaciones metatarsofalángicas. La dorsiflexión de los dedos en estas articulaciones aumenta la tensión en la aponeurosis plantar, merced a un mecanismo de torno, aumentando aún más la deformidad en cavo, continuándose el círculo vicioso.

La mecánica del **mecanismo de torno** se explica mediante la ilustración de la figura 19.

Pueden usarse modificaciones del calzado para proporcionar asistencia mecánica al pie cavo. Un soporte del arco longitudinal ayuda a distribuir el peso sobre una superficie mayor del pie, reduciendo la presión en las cabezas de los metatarsianos. Una barra o una almohadilla metatarsiana puede ayudar a reducir las fuerzas que tienden a dor siflexionar los dedos a nivel de las articulaciones metatarsofalángi



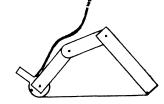


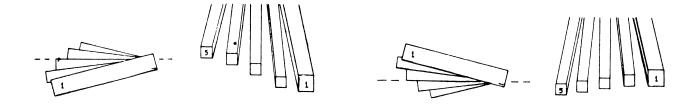
Figura 19

cas al andar. Cuando se trate de una deformidad rígida, se puede aumentar ligeramente la altura del tacón para mejorar la distribución relativa del peso entre las cabezas de los metatarsianos y el talón.

DEFORMIDADES COMPLEJAS

Para los fines de un análisis básico se han descrito brevemente cinco deformidades del pie y del tobillo, insistiendo en los factores determinantes estáticos. Un análisis más detallado del papel de los músculos en la producción de estas deformidades se explicará más adelante.

Las deformidades simples que acabamos de estudiar, pueden superponerse unas a otras. Por ejemplo, algunos pacientes pueden presentar un pie equinovaro o talovalgo. En otros pacientes la parte anterior del pie adopta una posición compensadora cuando la parte posterior se deforma. Este ajuste compensatorio sirve para conseguir que la parte anterior del pie efectúe su apoyo correctamente sobre el suelo, a pesar de la aberración de la parte posterior del pie. Esto suele conseguirse mediante una elevación de los metatarsianos mediales y una depresión de los metatarsianos laterales recíprocos, o viceverse, constituyendo un giro metatarsiano de supinación-pronación (figura 20).



Giro metatarsiano a la pronación

Giro metatarsiano a la supinación

Figura 20

A continuación estudiaremos la mecánica patológica del pie equinovaro y del pie planovalgo, que constituyen dos ejemplos de series complejas de realineaciones.

Pie equinovaro

Esta deformidad consta de varios componentes interrelacionados:

- 1. El tobillo y la parte anterior del pie se hallan en flexión plantar
- 2. La parte anterior del pie se halla en separación
- 3. Todo el pie se halla en supinación
- 4. La tibia se halla en rotación interna.

El pie es mantenido en **flexión plantar**, debido a que el tendón de Aquiles acortado se opone a la dorsiflexión. La aponeurosis plantar, que se halla engrosada y contraida, arrastra la parte anterior del pie a una posición en equino y produce la deformidad en cavo de las partes media y posterior del pie.

La posición de inversión, combinación de las de aducción y supinación, es mantenida por la dificultad que al movimiento en dirección a la alineación normal, oponen las retracciones de:

- 1. Ligamento deltoide, que parte del maléolo interno y va a insertarse al escafoides, el astrágalo y el sustentaculum tali del calcáneo.
- 2. Ligamento calcáneo-escafoideo plantar.
- 3. Tendón del tibial posterior.
- 4. Tendón de Aquiles, que no sólo se opone a la dorsiflexión, como ya se ha indicado, sino que también lleva el pie a la posición de inversión.

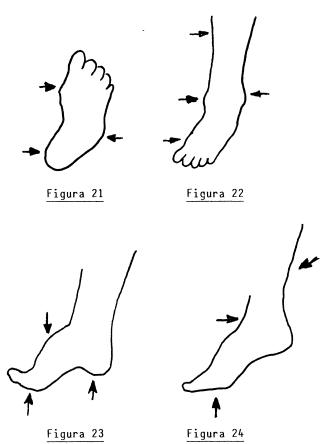
La aplicación de fuerzas mecánicas al tratamiento del pie equino varo debe contrarrestar los componentes básicos de la deformidad.

Un grupo de fuerzas (figura 21), debe aplicarse para compensar las fuerzas tendentes a producir o mantener la aducción del antepie.

Otro grupo de fuerzas (figura 22) debe contrarrestar las fuerzas tendentes a supinar el pie.

La figura 23 muestra el lugar de aplicación de las fuerzas que de ben contrarrestar a aquellas que producen el componente cavo de la deformidad.

Las fuerzas aplicadas para com pensar las que producen el equino a



nivel del tobillo son representadas en la figura 24.

No sólo es importante la dirección de las contrafuerzas, sino que también es importante en el tratamiento del pie equinovaro el orden en que son aplicadas las fuerzas mecánicas. La aplicación de fuerzas que compensen los componentes aductores y supinadores de la deformidad debe de ser anterior a la de las fuerzas dirigidas contra la deformidad en equino. Si se aplican las fuerzas que deben contrarrestar a las causantes del equino antes de que hayan sido corregidas la aducción y la supinación, el pie puede ceder a nivel de la articulación mediotarsiana, produciéndose un pie de polichinela ("rocker bottom" foot).

Se puede aplicar fuerzas externas para ayudar a producir o mantener la corrección obtenida quirúrgicamente, utilizando escayolas, aparatos ortésicos o correcciones del calzado. Cualquiera que sea el medio de aplicación, la dirección de las fuerzas debe ser esencialmente la indicada en los diagramas precedentes.

Pie planovalgo

El pie planovalgo, o simplemente pie plano, puede deberse a numerosas causas, pero en todos los casos, un rasgo básico de la deformidad es una relación anormal en la articulación calcáneo-astragalina. Los principales componentes que se interrelacionan son:

- 1. Depresión medial de la cabeza del astrágalo.
- 2. Depresión medial del calcáneo.
- 3. Supinación y abducción de la parte anterior del pie.

El astrágalo rota de tal manera que su cabeza es empujada hacia adentro y hacia abajo. La rotación y depresión de la cabeza astragalina causa un desplazamiento hacia dentro, de la línea de acción de la fuerza ejercida por el astrágalo sobre el sustentaculum tali. Esto aumenta la tendencia del peso suprayacente a empujar hacia abajo la porción medial del calcáneo (figura 25).

Hay una rotación interna de la superficie superior del calcáneo, mientras que la porción posterior es rotada hacia afuera, de tal forma que el calcáneo se coloca en posición de valgo con relación al astrágalo.

La rotación hacia afuera de la porción posterior del calcáneo desplaza

lateralmente la línea de tracción del tendón de Aquiles. Normalmente, el tríceps sural actúa también como inversor a nivel de la articulación subastragalina, además de su acción como flexor plantar del tobillo. El desplazamiento lateral de la línea de tracción del tríceps sural reduce el momento de inversión que pueda desarrollarse, contribuyendo así al desequilibrio de los momentos de fuerza alrededor de la articulación subastragalina, favoreciendo así la eversión.



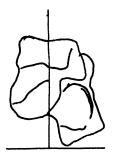


Figura 25

Mientras la parte posterior del pie se coloca en pronación, la reacción del suelo sobre la parte anterior tiende a impedir que la parte anterior adopte esta misma actitud en pronación. Las contrafuerzas ejercidas por el suelo sobre la parte anterior del pie tienden a colocarla en una supinación relativa con relación a la parte posterior del pie.

Cambios en la alineación tan elementales como los que se producen entre el astrágalo y el calcáneo, y entre las partes anterior y posterior del pie, causan inevitablemente cambios en la alineación de las otras articulaciones del pie.

La colocación normal de la articulación astrágalo-escafoidea se altera, desplazándose el escafoides hacia adentro y hacia abajo. Hay, también, un cambio en la disposición del calcáneo y del cuboides, desplazándose el cuboides hacia abajo y hacia afuera. Al mismo tiempo, la primera y segunda cuñas rotan hacia adentro y hacia abajo. Hay también tendencia de los huesos de la parte medial del pie a separarse unos de otros, mientras que los del

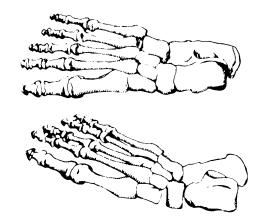


Figura 26

borde lateral se ven sometidos a una mayor compresión (figura 26).

Como consecuencia de la alteración de las relaciones óseas, el arco longitudinal se aplana, sobre todo por su parte medial.

A causa de la pronación de la parte posterior del pie, el ligamento deltoide se alarga, mientras que el ligamento lateral externo y la porción externa de la cápsula articular se retraen. El ligamento calcáneo-cuboideo puede retraerse también.

Ya se ha señalado previamente que la desviación lateral del tendón de Aquiles en el pie planovalgo reduce la efectividad del tríceps sural en orden a generar un momento de fuerza inversor. El tendón del tibial anterior se desvía lateralmente, con lo que prácticamente se elimina cualquier momento de inversión que el músculo pudiera desarrollar. El momento de inversión actuante sobre el pie se reduce aún más por el alargamiento de los tendones del tibial posterior. Los tendones peroneos, retraídos como consecuencia de la malposición crónica de los huesos, impiden la supinación a nivel de la articulación subastragalina.

Los músculos plantares cortos se ven también afectados en el pie planovalgo. A causa del aplanamiento del arco, estos músculos se alargan, colocándose por tanto en una posición de desventaja. Una vez que se inicia
la deformidad, el aplanamiento del arco y el debilitamiento de los músculos
refuerzan el continuo desarrollo de la deformidad.

La incapacidad de los ligamentos y músculos para mantener la normal alineación de los huesos somete a las superficies articulares a una presión adicional. Las reacciones inflamatorias, ya sean articulares o periarticulares, y el dolor debido a la distensión ligamentosa pueden causar espasmo reflejo de los músculos de pierna y pie, espasmo que actuará manteniendo o agravando la deformidad.

Un pie con una deformidad en planovalgo, necesita un soporte bajo el arco longitudinal. Esto se puede conseguir con cualquiera de los diversos aparatos correctores del calzado.

También se necesita ayuda para contrarrestar la tendencia de la parte posterior del pie a colocarse en valgo. Una cuña colocada en la parte medial del zapato ayudará a compensar las fuerzas que actúan, produciendo la deformidad en valgo. Una correa de corrección del valgo en un aparato

ortésico proporciona también una contrafuerza dirigida lateralmente, que se opone a la tendencia del pie a adoptar la posición de valgo.

Cuando existe un planovalgo, la parte anterior del pie puede colocarse en supinación compensadora y abducción. En algunos casos se necesita, además de las contrafuerzas destinadas a mejorar la posición de la parte posterior del pie, cuñas cruzadas para modificar la rotación de la parte anterior del pie, de forma que adopte una posición más normal. Las cuñas cruzadas consisten en añadir a la cuña ya mencionada, otra situada bajo la parte lateral de la suela del zapato. La cuña ayuda a rotar la parte anterior del pie hacia una posición paralela al suelo.

Hasta aquí hemos estudiado algunos de los principales componentes de las deformidades del pie común y del tobillo. Las causas primarias de estas deformidades son varias. En algunos casos, la alteración inicial se refiere directamente a los huesos. En la mayor parte de los casos, los músculos acaban contribuyendo a la deformidad. A partir de aquí analizaremos los efectos de la insuficiencia muscular. Aunque insistiremos principalmente en los efectos sobre el equilibrio y la marcha que se siguen de la inadecuación de los músculos a las demandas que se les hacen, estudiaremos también el papel específico que juega cada músculo en concreto en el desarrollo de la deformidad.

EFECTO DEL DEFICIT MOTOR SOBRE EL EQUILIBRIO Y LA MARCHA

Equilibrio antero-posterior

Si la vertical que pasa por el centro de gravedad de un objeto cae fuera de su base de apoyo, el cuerpo cae. En consecuencia, un cuerpo con una pequeña base de apoyo es relativamente menos estable que un cuerpo similar con una amplia base de apoyo. En la posición de pie nor mal, la dimensión antero-posterior de la base de apoyo proporcionada por los pies es relativamente pequeña, en comparación con la altura del cuerpo.

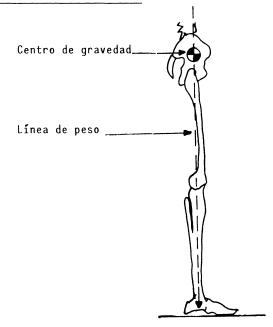
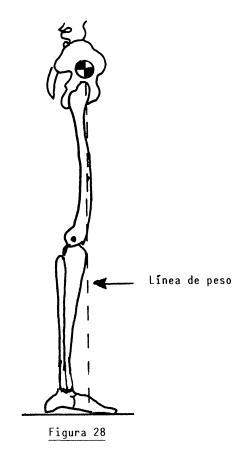


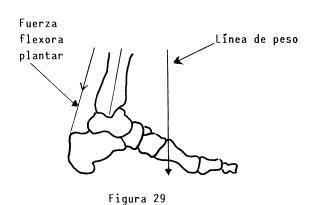
Figura 27

La figura 27 muestra el centro de gravedad equilibrado directamente sobre la articulación del tobillo. Este es un equilibrio inestable a causa del tamaño relativamente pequeño de la articulación del tobillo. Una pequeña desviación de la proyección del centro de gravedad heia adelante o hacia atrás, de la articulación del tobillo, alterará el equilibrio y el cuerpo comenzará a caer.

En la figura 28 el cuerpo ha comenzado a inclinarse hacia adelante, llevando la línea del peso un poco por delante de la articulación del tobillo. Alrededor de la articulación del tobillo existe un momento de fuerza producto del peso del cuerpo sobre la articulación del tobillo y la distancia perpendicular desde el centro de rotación de la articulación del tobillo a la línea del peso. Si este movimiento no es frenado antes de que la línea de gravedad se salga de la base de apo yo, el cuerpo caerá hacia adelante.

La fuerza necesaria para detener el movimiento hacia adelante es proporcionada por los músculos que flexionan plantarmente la articulación del tobillo (figura 29).





Si hay que frenar este movimiento, estos músculos deben ejercer una fuerza suficiente para producir el equilibrio rotatorio en la articulación del tobillo. Una vez parado el movimiento, todo el pie servirá como base de apoyo, en vez de únicamente la pequeña articulación del tobillo.

La magnitud relativa de la fuerza que debe ser generada por es tos músculos para equilibrar la articulación del tobillo se indica por el diagrama y la fórmula acompañante de la figura 30.

En la figura 31, el cuerpo ha comenzado a oscilar hacia atrás, ha ciendo que la línea del peso caiga por detrás de la articulación del tobillo. Esta rotación hacia atrás en torno a la articulación del tobilo requiere que sea aplicada una fuerza restrictiva por los músculos que dorsiflexionan el tobillo. Esta fuerza restrictiva debe ser suficiente para producir el equilibrio rotatorio de la articulación del tobillo, o de lo contrario el cuerpo caerá hacia atrás.

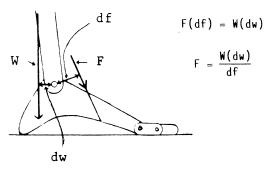


Figura 32

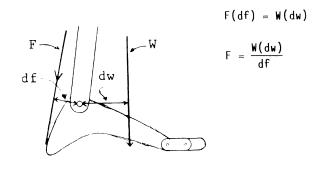
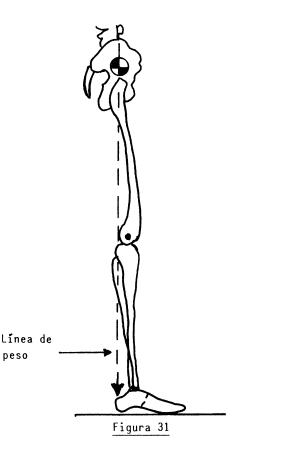


Figura 30



El diagrama y fórmula de la figura 32, muestran la magnitud relativa de la fuerza que debe ser generada por los dorsiflexores y la relación que existe entre la magnitud de la fuerza y la posición de la línea del peso con relación a la articulación del tobillo.

Equilibrio mediolateral

A causa de la estrechez de la base de apoyo, se requiere una actividad muscular casi continua para mantener el equilibrio sobre una sola pierna. La depresión activa de los bordes medial o lateral del pie cambia la dirección de la oscilación antes de que la línea de gravedad se salga de la base de apoyo.

Cuando el cuerpo oscila lateralmente, los músculos que actúan sobre el pie elevan el borde medial del pie y deprimen el borde lateral. En consecuencia, la línea del peso cae por dentro de la superficie de apoyo y el movimiento en sentido contrario creado, tiende a balancear el centro de gravedad hacia la línea media (figura 33).

EQUILIBRIO MEDIOLATERAL

- A. El cuerpo ha comenzado a caer hacia el lado medial.
- B. Los invertores alzan el lado medial del pie, formando un pivote lateral a nivel del suelo.
- C. El cuerpo vuelve a ser colocado en posición vertical de nuevo, como un momento de fuerza causa rotación en el sentido de las agujas del reloj sobre este pivote.

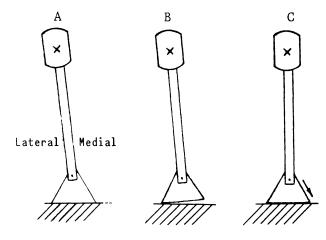


Figura 33

Mientras que la acción muscular descrita arriba es importante para mantener el equilibrio sobre un pie, su contribución al equilibrio lateral es mucho menos importante cuando los dos pies se hallan sobre el suelo. Cuando se está de pie sobre los dos pies, la base puede ser ensanchada fácilmente con sólo separar las piernas para proporcionar una adecuada estabilidad lateral.

Debido a los diversos tipos de compensación que se pueden llevar a cabo, la insuficiencia de los músculos que actúan elevando o deprimiendo los bordes lateral y medial del pie tienen un efecto mínimo sobre el equilibrio bipedal. La insuficiencia de estos músculos, sin embargo, tendrá un efecto importante sobre la distribución de todo el peso por las estructuras del pie. Se explicará esto en la sección siguiente.

Marcha

En la locomoción humana normal, tiene lugar un movimiento relativo entre el pie y la pierna, a nivel de la articulación del tobillo y de la articulación subastragalina. Los movimientos en el tobillo desempeñan un papel clave en el frenado y la propulsión. El movimiento en la articulación subastragalina acomoda el movimiento a un lado y otro del cuerpo por encima del pie, permitiendo al pie ajustarse a un terreno irregular. Un modelo de marcha normal depende de un exacto control muscular de los movimientos del tobillo y la articulación subastragalina.

La debilidad de los músculos encargados de controlar el movimiento en la articulación del tobillo puede ser causa, según de qué músculo se trate, en alteraciones de la deambulación como pie golpeante ("foot slap"), arrastre de la puntera ("toe drag"), o arranque insuficiente ("insufficient push-off").

La deficiencia de los músculos en relación al movimiento subastragalino se reflejará como una disminución relativa de la capacidad para andar por un terreno irregular. Si se anda sobre un terreno liso, el equilibrio lateral nunca podrá ser afectado por gran cosa. Sin embargo, el modelo deambulatorio puede, indirectamente, verse considerablemente afectado. La incapacidad muscular para controlar el movimiento subastragalino puede trastornar la normal distribución del peso a las distintas partes del pie, hasta el punto de producirse molestia o dolor. El dolor o la incomodidad, a su vez, harán que el paciente recurra a desviaciones de la marcha en un intento de reducir al mínimo las molestias.

EFECTOS DE LA PARALISIS DE CIERTOS MUSCULOS

Tibial anterior

El tibial anterior y los extensores largos de los dedos son los principales dorsiflexores de la articulación del tobillo. Cuando se debilita el tibial anterior, el momento de fuerza de dorsiflexión en torno a la articulación del tobillo se reduce sustancialmente, y el tobillo tiende a colocarse en posición equina. La fuerza ejercida por los extensores largos de los dedos y el peroneo anterior puede ser suficiente para dorsiflexionar el pie, pero al actuar así, estos músculos crean un empuje desviado late-

ralmente, y tienden a producir un movimiento de abducción y pronación en torno a las articulaciones subastragalina y mediotarsiana.

En circunstancias normales, los flexores plantares y dorsiflexores del tobillo y los flexores de la superficie plantar del pie mantienen entre los tres un equilibrio dinámico.

Si la fuerza generada normalmente por el tibial anterior o el tríceps sural se reduce, hay una tendencia por parte de los músculos cortos plantares a aproximar las partes anterior y posterior del pie, con la consiguiente tirantez de la fascia plantar y la producción de una deformidad en cavo. Además, la debilidad del tibial anterior estropea el balance dinámico de fuerzas que existe normalmente entre el tibial anterior y el peroneo largo. El desequilibrio tiende a producir un equino de la parte anterior del pie, aumentando la tendencia a deformidad en cavo.

La tendencia a la hiperextensión a nivel de las articulaciones metatarsofalángicas es debida probablemente, a la fuerza incrementada ejercida por los extensores largos de los dedos, en orden a compensar al tibial anterior deficiente.

Equilibrio de pie

La debilidad o la parálisis del tibial anterior tendrá poco efecto sobre el equilibrio de pie, dado que la línea del peso se mantiene normalmente por delante de la articulación del tobillo. El análisis mecánico de esto es el mismo que el realizado en la exposición general del papel de los dorsiflexores como grupo en el mantenimiento del equilibrio (figura 32).

La parálisis unilateral del tibial anterior tendrá un efecto mínimo sobre el equilibrio de pie, dado que los músculos de la otra pierna pueden proporcionar un control adecuado de la posición del centro de gravedad sobre la base de sustentación.

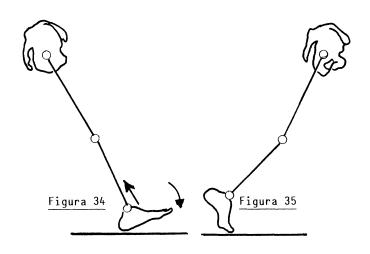
En tanto en cuanto los flexores plantares tengan una fuerza esencialmente normal, la insuficiencia bilateral del tibial anterior tendrá poco efecto sobre la capacidad de mantener el equilibrio. La longitud del pie por delante de la articulación del tobillo permite mantener a la línea del peso por delante de la articulación del tobillo, aunque suficientemente por detrás de las cabezas de los metatarsianos como para proporcionar un

margen de seguridad contra el desequilibrio hacia adelante. Los cambios de tensión de los flexores plantares pueden mantener la línea del peso dentro de los límites precisos. Sin embargo, si la línea del peso cae inadvertidamente por detrás de la articulación del tobillo, se pierde el equilibrio hacia atrás, a menos que se de un paso rápido hacia atrás.

Marcha

La parálisis del tibial anterior tendrá un efecto señalado sobre el modelo deambulatorio.

En la fase de apoyo de la marcha, en el período que media entre el apoyo del talón y el apoyo de la planta, la gravedad y el movimiento del cuerpo tienden a flexionar plantarmente con fuerza el tobillo. Este movimiento se ve opuesto, pero no detenido, por la acción de los dorsiflexores del tobillo, en particular el tibial anterior (figura 34).



Si el tibial anterior no puede generar fuerza suficiente para controlar la flexión plantar del tobillo, el pie golpeará contra el suelo durante la primera parte de la fase de apoyo.

En la marcha normal, al final de la fase de apoyo, el tobillo se halla en flexión plantar de unos 15 grados (figura 35).

Inmediatamente después, al entrar la pierna en la fase de oscil<u>a</u> ción, el pie debe ser colocado en una posición neutral o en unos pocos grados de dorsiflexión (figura 36). En esta posición, el centro de gravedad del pie se halla por delante de la articulación del tobillo, de tal forma que la gravedad tiende

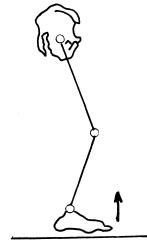


Figura 36

a flexionar plantarmente el tobi-

Si el tibial anterior no puede proporcionar fuerza suficiente para evitar que el pie caiga en flexión plantar, la punta del pie arrastrará por el suelo durante la fase de oscilación, a menos que haya un aumento compensatorio de la flexión de la rodilla y la cadera para separar el pie del suelo (figura 37).



Figura 37

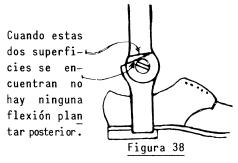
Asistencia mecánica

Aparatos ortésicos y correcciones del calzado son usados en muchos casos para compensar la incapacidad del tibial anterior. Un tope sobre un aparato ortésico proporciona la necesaria contrafuerza para controlar la

flexión plantar en el tobillo al grado deseado.

La figura 38 muestra un tope en un aparato ortésico que limita la flexión plantar. Esto ayuda a impedir el desarrollo o la progresión de una deformidad en equino, y ayuda a mantener el equilibrio estando de pie y andando.

A continuación del apoyo del talón, el tope impide al tobillo progresar hacia una flexión plantar incontrolada. Sin embargo, cuando es frenado el movimiento en la articulación del tobillo, la fuerza que tiende a producir flexión plantar en el tobillo tenderá a rotar el pie en su totalidad en dirección a la flexión plantar, sirviendo el talón de gozne o pivote. Esto, a su



Tope de flexión plantar

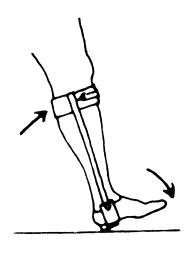


Figura 39

vez, tiende a rotar la barra vertical del aparato ortésico hacia adelante, de tal manera que la banda de la pantorrilla ejerce presión sobre la parte posterior de la pierna (figura 39). Esta presión puede ser mantenida dentro de los límites de tolerancia de los tejidos si la banda de la pantorrilla es suficientemente ancha como para distribuir la fuerza sobre una superficie suficiente y si está colocada suficientemente alta como para aumentar la distancia perpendicular desde el punto de rotación.

En algunos casos, en lugar de topes rígidos para limitar la fle-xión plantar, se usan muelles que permiten un mejor control de la flexión plantar a continuación del apoyo del talón. Esta acción se corresponde más estrechamente con la de la función normal de los dorsiflexores del tobillo, ya que se permite cierta flexión plantar del tobillo, pero presentándose una resistencia suficiente por la acción del muelle para impedir el pie golpean-

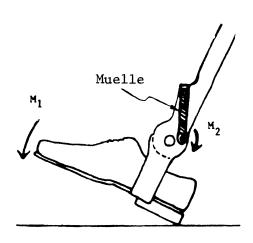


Figura 40

te. En la figura 40, $\rm M_1$ representa el momento de fuerza debido a la gravedad y la inercia que tiende a producir flexión plantar del tobillo. F representa la fuerza ejercida por el muelle en la unión del tobillo, y $\rm M_2$ representa el par de torsión que se opone a la flexión plantar del tobillo.

Si la parálisis del tibial anterior produce una deformidad en pie equino fijo, habrá entonces una anormal concentración de peso sobre las cabezas de los metatarsianos. La asistencia mecánica puede conseguirse colocando un soporte bajo el talón o haciendo uso de una corrección del calzado en la zona metatarsiana que distribuya el peso de forma más conveniente.

Tríceps sural

La parálisis del tríceps sural altera el equilibrio dinámico en torno a la articulación del tobillo. El mayor momento de fuerza desarrollado por los dorsiflexores hace adoptar al pie una posición en talo. Además, sin

la poderosa tracción del tríceps su ral, los flexores de la superficie plantar del pie pueden arrastrar al calcáneo hacia adelante (figura 41). El astrágalo es forzado en dor siflexión y la fascia plantar se retrae.

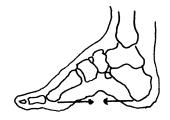


Figura 41

Al perderse la acción del tríceps sural, el peroneo largo y el peroneo corto intentan flexionar plantarmente el pie, contribuyendo así a la deformidad en pie cavo. El ángulo de la articulación mediotarsiana se hace más agudo. Este estira a los extensores largos, que levantan los dedos en hiperextensión, a nivel de las articulaciones metatarsofalángicas. El efecto contribuye a la deformidad en cavo, como hemos visto anteriormente en la figura 19.

Equilibrio de pie

La debilidad bilateral del tríceps sural tiene un efecto fundamental sobre el equilibrio de pie. La falta del freno proporcionado por el tríceps sural hace que la línea del peso no pueda ser llevada por delante de la articulación del tobillo, o de lo contrario el individuo caerá hacia adelante. La distancia relativamente corta entre la articulación del tobillo y el punto de apoyo posterior constituido por el talón, permite un límite muy pequeño para la oscilación antero-posterior del cuerpo. Si la línea del peso cae por detrás de los talones, sólo un rápido paso hacia atrás u otro movimiento sobre el centro de gravedad que cambie su posición sobre la base de sustentación evitará la caída.

Marcha

Durante la primera parte de la fase de apoyo no hay actividad del tríceps sural. Una vez que la planta del pie ha apoyado en el suelo, la pierna comienza a rotar hacia adelante, sobre la articulación del tobillo. En el momento en que la pierna alcanza la posición vertical, el tríceps sural presenta una actividad importante. Mientras la tibia continúa rotando hacia adelante, sobre la articulación del tobillo, la fuerza ejercida por el tríceps sural aumenta hasta que se alcanza momentáneamente el equilibrio rotatorio en la articulación del tobillo. En este momento el talón se eleva

del suelo. Un aumento mayor de la actividad del tríceps sural lleva el tobillo en flexión plantar, proporcionando un poderoso arranque.

Durante la mayor parte de la fase central del apoyo, y durante el arranque, las fuerzas ejercidas por la gravedad y la inercia del cuerpo tienden a producir dorsiflexión del pie. A menos de que el tríceps sural pueda producir fuerza suficiente para frenar primero e invertir después este movimiento, la marcha se verá marcada por un arranque insuficiente.

Asistencia mecánica

Un tope en un aparato ortésico que limite el movimiento en dorsiflexión podrá sustituir parcialmente el déficit de un tríceps sural débil.

La figura 42 es el mismo diagrama que apareció anteriormente como figura 30, y sirve como recordatorio del papel jugado por el tríceps sural en orden a controlar la tendencia del pie a caer hacia adelante, cuando la línea del peso cae por delante de la articulación del tobillo. Si la fuerza F no es capaz de establecer el equilibrio y parar el movimiento de dorsiflexión en el tobillo, el individuo caerá hacia adelante.

$$F(df) = W(dw)$$
$$F = \frac{W(dw)}{df}$$

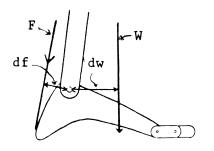


Figura 42

Sin embargo, si lleva un aparato ortésico con un tope que limite la dorsiflexión, la dificultad para mantener el equilibrio disminuirá grandemente, dado que el tope sustituye muy bien al tríceps sural en lo que se refiere al equilibrio.

Como se muestra en la figura 43, el tope proporciona una contrafuerza que limita el movimiento hacia delante de la barra vertical. Cuando el cuerpo comienza a oscilar hacia adelante, la parte anterior de la pierna presionará contra la

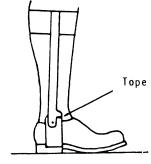


Figura 43

parte anterior de la banda. El frenado de este movimiento por el tope de la férula impedirá al centro de gravedad oscilar más allá del borde anterior de la base de sustentación.

Al limitar la dorsiflexión, el tope puede reducir la detención del pie al final de la fase de apoyo. Sin embargo, el tope no puede proporcionar el arranque activo que deriva de la contracción activa del tríceps sural normal en la marcha.

Peroneo largo

La línea de acción del peroneo largo crea un momento de flexión plantar en la articulación del tobillo. Sin embargo, la debilidad del peroneo largo no parece producir una disminución importante en el poder flexor plantar si el tríceps sural es normal.

Una fuerza actuando hacia arriba sobre el extremo lateral del eje subastragalino, o ejerciendo una fuerza de dirección lateral por debajo del eje subastragalino, tenderán a rotar el pie en dirección a la versión externa. La línea de acción del peroneo largo es lateral e inferior al eje subastragalino, y constituye una gran parte del momento total de fuerza causante de la versión externa del pie.

Si se debilita el peroneo largo, los momentos de fuerza de versión externa-interna, en torno al eje subastragalino, se desequilibran, y el pie tiende a colocarse en supinación. Normalmente, si la parte posterior del pie se halla en supinación, puede conseguirse un giro pronatorio compensador mediante una elevación de los metatarsianos cuarto y quinto, y una depresión recíproca de los metatarsianos primero y segundo. La acción del peroneo largo contribuye a esta reacción compensadora.

Cuando se paraliza el peroneo largo, se sigue un doble efecto mecánico-patológico. La insuficiencia del peroneo largo permite a las fuerzas desequilibradas rotar el pie en el eje subastragalino hasta una posición de supinación y, además, elimina la capacidad de realizar un giro pronador compensador de la parte anterior del pie. En consecuencia, una parte adicional del peso del cuerpo descansará sobre la parte lateral del pie, y es posible que se produzcan callos por debajo de las cabezas de los metatarsianos laterales.

El equilibrio en dirección antero-posterior no parece que se afecte,

ni el equilibrio en dirección lateral estando de pie, debido a las compensaciones que llevan a cabo otros músculos.

La deambulación puede verse afectada, sin embargo, a causa de la distribución alterada de peso, y también la capacidad de adaptarse a un terreno irregular, debido a la incapacidad de everter el pie.

Entre los aparatos mecánicos más importantes que pueden usarse se encuentra una cuña lateral en la suela y el tacón del zapato, o una correa de corrección de varo en el aparato ortésico, o combinaciones de ambos. Cada uno de estos aparatos genera un contramomento de fuerza en torno al eje subastragalino, que tiende a producir un cambio compensador en la rotación en dirección a la pronación.

Tibial posterior

El tibial posterior al pasar por detrás y debajo de la articulación del tobillo, desarrolla un momento de fuerza de flexión plantar, pero su contribución al momento total de flexión plantar no es tal que la debilidad aislada del tibial posterior parezca estropear el equilibrio dinámico entre los flexores plantares y los dorsiflexores.

La línea de acción del tibial posterior, además de pasar por debajo del eje subastragalino, tiene una dirección postero-medial. El momento de fuerza que desarrolla, tendente a producir versión interna del pie, es una parte sustancial del momento total de fuerza implicado en este movimiento. En consecuencia, si el tibial posterior es débil, el pie cede a los relativamente más fuertes evertores, produciéndose una deformidad en valgo. La línea de tracción ejercida por la insercción en abanico del tibial posterior, que actúa sobre la superficie plantar del escafoides, sobre todas las cuñas, sobre el segundo, tercero y cuarto metatarsianos, y sobre el cuboides, proporciona el sostén muscular más importante del arco longitudinal del pie. Si este sostén muscular falla, se instaura una afección mecánica patológica que origina el desarrollo de un pie plano.

Por lo que se refiere al equilibrio sobre los dos pies, la debilidad o la parálisis del tibial posterior parece tener poca importancia.

Al hallarse disminuído el poder de versión interna, la adaptación del pie a un terreno desigual es menos efectiva, y esto se puede reflejar en dificultad para andar por un terreno difícil.

La alteración en la distribución en el peso del pie, así como la disminución del sostén del arco longitudinal, pueden reducir la velocidad de la marcha, así como la distancia que es capaz de andar sin molestia.

La asistencia mecánica conseguida mediante correcciones del calzado trata de aplicar una contrafuerza a la parte plantar interna del pie. Esto contribuye a reducir la tendencia del pie a colocarse en valgo. También puede ser necesario un soporte mecánico bajo el arco longitudinal.

Si se usa un aparato ortésico, se puede aplicar una correa que ejerza una contrafuerza de dirección lateral. Esto detendrá también la tendencia del pie a aumentar su valgo, y tenderá a rotar el pie en la dirección deseada.

RESUMEN

Cuando el cuerpo no puede sostener cargas y fuerzas normales, o no puede generar fuerzas suficientes para un normal funcionamiento, existe entonces una afección mecánica patológica. Una afección mecánica patológica puede ser debida a factores tales como:

- 1. Forma anormal o descolocación de los huesos.
- 2. Inadecuada resistencia a la tensión de huesos o ligamentos.
- 3. Debilidad o incoordinación musculares.

En algunas afecciones mecánicas patológicas, se usan aparatos ortésicos y correcciones del calzado para aplicar fuerzas o contrafuerzas que compensen las deficiencias mecánicas correspondientes.

El peso suprayacente del cuerpo se transmite a los huesos del pie a través del astrágalo. El modelo normal de distribución depende en gran parte de la relación angular entre el astrágalo y el calcáneo. Desviaciones del ángulo óptimo pueden imponer una tensión anormal a los huesos, ligamentos y músculos del pie.

Para soportar el peso del cuerpo, las estructuras del pie funcionan en forma análoga a los arcos y las vigas. Sea concebido como un arco o como una viga, el pie sobrecargado se ve afectado de la misma manera. Los ligamentos y los músculos se ven sometidos a una mayor distensión y determinadas partes de los huesos contiguos se ven sometidos a una mayor compresión.

Los estados iniciales de una deformidad se suelen caracterizar por

un aumento de las exigencias mecánicas sobre los ligamentos y los músculos. Mientras el pie permanezca flexible, la aplicación de fuerzas externas mediante aparatos ortésicos y correcciones del calzado pueden restaurar y mantener los elementos estructurales bien alineados o, al menos, impedir la progresión de la deformidad. Si la deformidad se estabiliza, la aplicación de contrafuerzas mediante un aparato ortésico o una corrección del calzado puede ayudar a obtener una distribución óptima del peso en el pie, pero no es capaz ya de volver a su posición correcta los elementos desestructurados.

En el desarrollo de pie equino y de pie talo, actúan fuerzas desequilibradas en torno a la articulación del tobillo. Para frenar la progresión de la deformidad se pueden utilizar topes en un aparato ortésico.

En las deformidades conocidas como pie varo y pie valgo, el desequilibrio primario se halla en torno a la articulación subastragalina. Se pueden usar correcciones del calzado para proporcionar contrafuerzas que se opongan al desarrollo de la deformidad. También se pueden usar correas en un aparato ortésico para ejercer contrafuerzas de dirección medial o lateral con el mismo propósito.

En el pie cavo, la afección mecánica patológica consiste esencialmente en que los músculos y la fascia de la cara plantar del pie ejercen sobre el pie fuerzas mayores de lo normal, tendiendo a aproximar las partes anterior y posterior del pie. La asistencia mecánica, que incluye normalmente un soporte del arco, trata de mejorar la distribución del peso.

En el pie equinovaro, el pie es mantenido en flexión plantar a causa de que la retracción de los músculos y tendones de la parte posterior de la pierna se oponen a la dorsiflexión. La retracción de los músculos y tendones que ejercen su tracción por dentro o por debajo del eje subastragalino, produce versión interna del pie. La aplicación de contrafuerzas para compensar los componentes de aducción y de supinación de la deformidad debe preceder a la aplicación de fuerzas dirigidas contra el componente equino de la deformidad.

Un rasgo básico del pie planovalgo es una relación anormal en la articulación calcáneo-astragalina. Cambios tan importantes en la alineación como los que se producen entre el astrágalo y el calcáneo casi invariablemente causan cambios en la alineación en otras articulaciones del pie. La

asistencia mecánica suele incluir un soporte bajo el arco longitudinal. Para resistir la tendencia de la parte posterior del pie a colocarse en valgo, se puede utilizar una contrafuerza de dirección lateral aplicada mediante una correa a la parte interna del tobillo y una contrafuerza de dirección vertical aplicada mediante una cuña debajo de la parte interna de la superficie plantar de las porciones media y posterior del pie.

Los flexores plantares y dorsiflexores del tobillo contribuyen a mantener el equilibrio de pie en dirección antero-posterior. Su acción controla el movimiento de la articulación del tobillo, de tal forma que el centro de gravedad del cuerpo permanezca sobre la base de sustentación.

Por lo que respecta a la deambulación, la parálisis de los dorsiflexores del tobillo dejará que el pie golpee contra el suelo a continuación del apoyo del talón, y hará que la punta del pie arrastre por el suelo durante la fase de oscilación. La parálisis de los flexores plantares hará que se pierda el arranque de la fase de apoyo de la marcha.

La aplicación de topes a la articulación del tobillo puede proporcionar contrafuerzas que sustituyan en parte al déficit de los dorsiflexores y los flexores plantares del tobillo. En el caso de los dorsiflexores, se puede usar un muelle en lugar de un tope.

La acción muscular que eleva los bordes medial y lateral del pie ayuda a mantener el equilibrio lateral. Esto es de considerable importancia para mantener el equilibrio sobre un solo pie. Es de importancia secundaria cuando se está sobre los dos pies, porque en este caso se puede aumentar la base de sustentación. Al andar, la incapacidad de los músculos que producen versión externa e interna del pie, reduce la habilidad para adaptarse a un terreno irregular. Para compensar parcialmente la incapacidad de los músculos invertores y evertores se utilizan correas de valgo y de varo, y modificaciones del calzado.

La asistencia mecánica proporcionada por los aparatos ortésicos y las correcciones del calzado, además de compensar el déficit muscular al estar de pie y al andar, pueden contribuir también a controlar el desequilibrio de fuerzas que produce la deformidad.

APENDICE: DEFINICIONES DE LOS TERMINOS RELACIONADOS CON LOS MOVIMIENTOS DEL PIE Y DEL TOBILLO

Ha habido una gran controversia acerca del uso de los términos relacionados con los movimientos del pie y del tobillo, existiendo autoridades de la profesión médica y en el campo de la anatomía que asignaban significados diferentes a los mismos términos.

Las definiciones y descripciones que siguen, son las usadas en esta publicación para definir y describir los movimientos y posiciones del pie y del tobillo.

En nuestra exposición se ha usado reiteradamente la acepción geométrica de la palabra eje. Un **eje** es una línea en torno a la cual gira un cuerpo. En este sentido, el eje de rotación no tiene por qué pasar necesariamente a través del cuerpo giratorio.

Dorsiflexión y flexión plantar se refieren a la rotación en torno a un eje horizontal perpendicular al plano sagital.

Abducción y aducción se refieren a la rotación en torno a un eje vertical.

Supinación y pronación se refieren a la rotación en torno a un eje horizontal perpendicular al plano frontal.

Los movimientos del pie y del tobillo no son simples rotaciones en un único plano, sino que se componen de movimientos en varios planos, que tienen lugar simultáneamente.

En los movimientos compuestos, la proyección del movimiento en el plano **sagital** corresponde al elemento de movimiento definido como dorsiflexión y flexión plantar.

La proyección en el plano horizontal corresponde al movimiento definido como abducción-aducción.

La proyección en el plano **frontal** corresponde al movimiento definido como supinación-pronación.

Para ser exactos, los movimientos en torno a un eje oblicuo se describen mejor utilizando términos compuestos, tales como supinación-aducción-flexión plantar y pronación-abducción-dorsiflexión. Para ser más breves,

es a menudo preferible usar el término que describe el componente predominante del movimiento sólo, siempre que ello no induzca a confusión.

Movimientos del pie como una totalidad

Dorsiflexión y flexión plantar

Con relación a la ortésica, basta considerar el eje de la articulación del tobillo como horizontal y pasando a través del astrágalo, justo por encima de la articulación calcáneo-astragalina, a nivel del extremo del maléolo interno.

La rotación del pie como un to do alrededor del eje horizontal es la dorsiflexión-flexión plantar (figura 1).

Abducción y aducción

Los movimientos de abducción y aducción tiene lugar en torno a un eje vertical que pasa a través del astrágalo y por arriba a través de la tibia (figura 2).

Estos movimientos acontecen cuando el pie se halla levantado del suelo y es movido pasivamente. Cuando el pie se halla apoyado en el suelo, los mismos movimientos relativos entre el pie y la pierna se consideran rotación medial y lateral de la pierna sobre el pie.

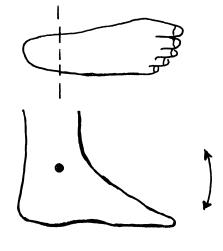
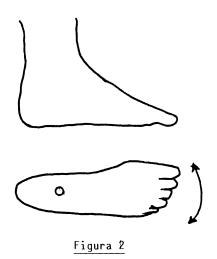


Figura 1



Supinación y pronación

Los movimientos de supinación y pronación tienen lugar en torno a un eje horizontal que sigue una dirección anteroposterior (figura 3).

Este es un eje teórico, ya que en realidad no existe tal movimiento del pie en la articulación subastragalina y este movimiento se realiza en la parte anterior del pie, predominantemente mediante la elevación y la depresión de los metatarsianos.

En esta sección se han descrito los movimientos fundamentales en términos de las proyecciones de los

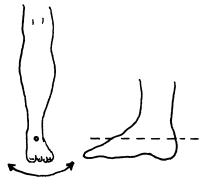


Figura 3

componentes de los movimientos compuestos en los planos sagital, horizontal y frontal. Es importante recordar que los ejes de estas rotaciones parciales son perpendiculares a sus planos respectivos, y no coinciden con los auténticos ejes articulares en torno a los cuales acontecen los movimientos totales.

Inversión y eversión

Los términos versión interna y versión externa son usados de forma diferente por diversos autores. En nuestra exposición, el término inversión se refiere al movimiento que combina la supinación, la aducción y cierto grado de flexión plantar. El término varo se aplica a la posición resultante del pie (figura 4).

El término eversión se refiere al movimiento que combina la pronación, la abducción y la dorsiflexión. El término valgo se aplica a la posición resultante del pie (figura 5).

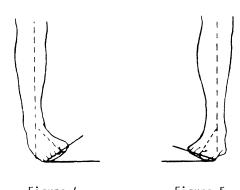


Figura 4 Figura 5

Versión interna Versión externa

Movimientos de la parte anterior del pie

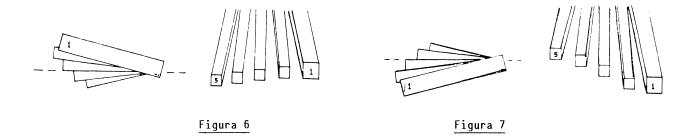
Los términos abducción y aducción se refieren a los movimientos que acontecen en torno al eje vertical. El movimiento tiene lugar en las articulaciones mediotarsiana y tarso-metatarsiana.

En la abducción de la parte anterior del pie, a la desviación **lateral** de los metatarsianos se le aplica el nombre de **valgo**.

En la aducción de la parte anterior del pie, a la desviación **medial** de los metatarsianos se le aplica el término de **varo**.

La supinación y la pronación de la parte anterior del pie se refieren a la rotación en torno a un eje horizontal y antero-posterior. Una parte de este movimiento ocurre en la articulación mediotarsiana, pero el componente predominante de la supinación y la pronación de la parte anterior del pie es un movimiento combinado que implica un movimiento recíproco de los radios medial y lateral. El término radio se refiere a cada unidad digital anterior a la parte media del pie.

El giro en supinación de la parte anterior del pie se consigue median te la elevación del primer metatarsiano y la depresión recíproca del cuarto y quinto metatarsianos (figura 6).



El giro en pronación de la parte anterior del pie se consigue mediante la depresión del primer metatarsiano y la elevación recíproca del cuarto y quinto metatarsianos (figura 7).