



*Desgaste provocado sobre una plantilla
en una hiperfunción del segundo metatarsiano*

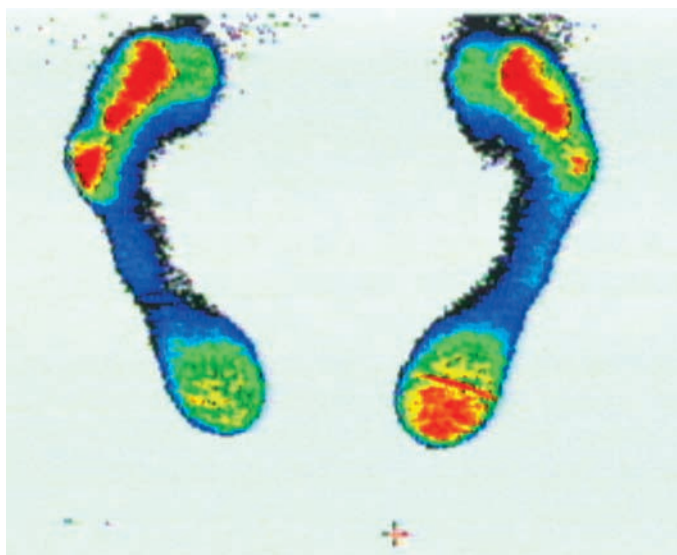
Parecía a partir de aquí más lógico que las exploraciones y los moldes se realizasen colocando el pie en un ligero equinismo, por lo que se hizo necesario el empleo de tacones de diversas alturas para conseguir el diagnóstico y acoplar la plantilla.

Ello hizo que los materiales rígidos tipo plexidur, duraluminio o fibra de vidrio fuesen sustituidos o complementados con otros más elásticos, que nos permitiesen sobrepasar la línea de las art. metatarsofalángicas, con lo cual se conseguía un mayor porcentaje de éxitos. Llega la era del cornaylon, foams de diversas durezas, resinas, sobortholent, inclusiones de silicona, etc.

A pesar de ello siguieron existiendo casos en los que, inexplicablemente por aquel entonces, el índice de satisfacción no era el deseado. Se hace imprescindible reconsiderar todo lo emplea-



*El efecto mecánico de la sobrecarga queda reflejado en la plantilla vieja usada por el paciente.
Imagen dinámica obtenida en plantaforma de sensores, que demuestra una sobrecarga puntual en la cara interna del calcáneo*



Huella actual obtenida por el sistema Podo Computer

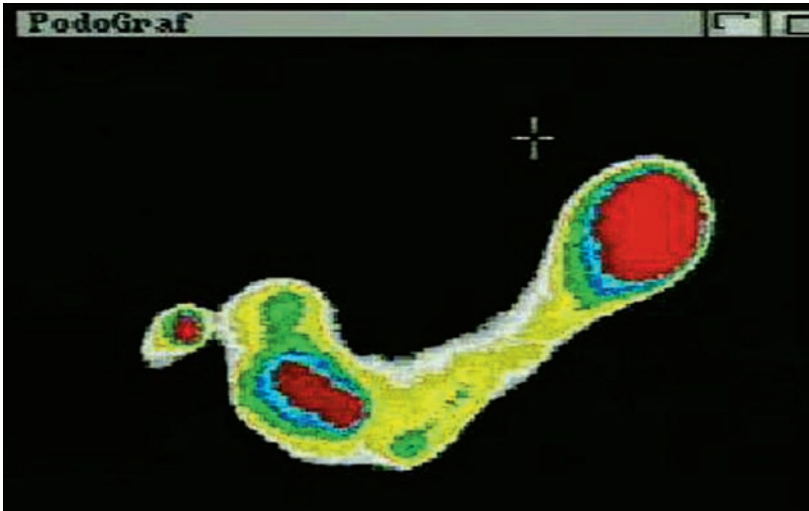
No es la panacea, pero sí una técnica que hay que tener en cuenta en los pacientes con alteraciones de los metatarsianos que no quieran usar una plantilla compensatoria. Yo diría que hay ocasiones en las que una plantilla puede ser la solución ideal, otras en las que lo será la cirugía, y la mayoría que requerirán un tratamiento combinado para obtener buenos resultados a largo plazo. Lo que está claro es que la valoración de la alteración y la elección del método terapéutico no deben hacerse mediante un estudio local, sino después de una valoración global en la que varios factores tienen un peso específico, entre ellos la idiosincrasia y la edad del paciente.

La contemplación de las conclusiones expuestas nos da pie a adentrarnos en el estudio del antepié bajo un prisma puramente biomecánico, teniendo presente que su función más importante la realiza en la dinámica y dentro de ésta en la fase puramente de impulso.

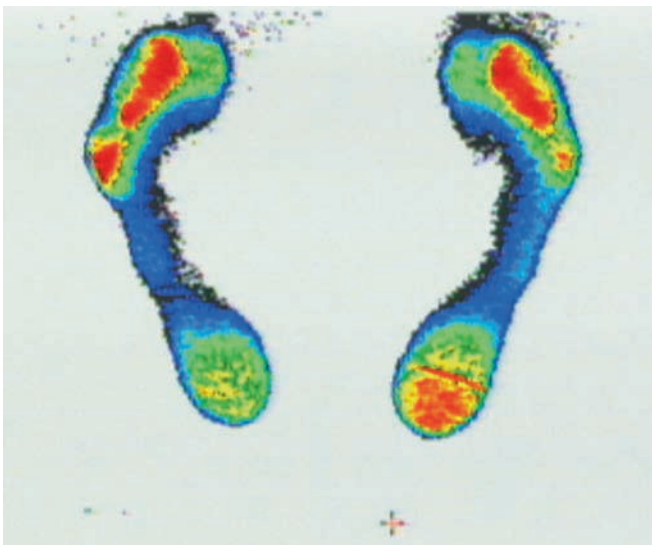
Aceptamos que en la ejecución de un paso se realizan movimientos flexorrotatorios, que tienen como objeto desplazar el centro de gravedad del cuerpo en un sentido anterior lo más plano posible, buscando siempre un sistema ideal de trabajo económico.

En dinámica, el momento que requiere más estabilidad por parte del pie correspondería al de apoyo unipodal, donde es sometido además a mayor compresión vertical, y el de mayor esfuerzo en impulso, a elevación del centro de gravedad (cdg), es decir, el final del apoyo total y el inicio del despegue de talón, o primer momento de impulso, hasta el paso del cdg sobre la vertical.

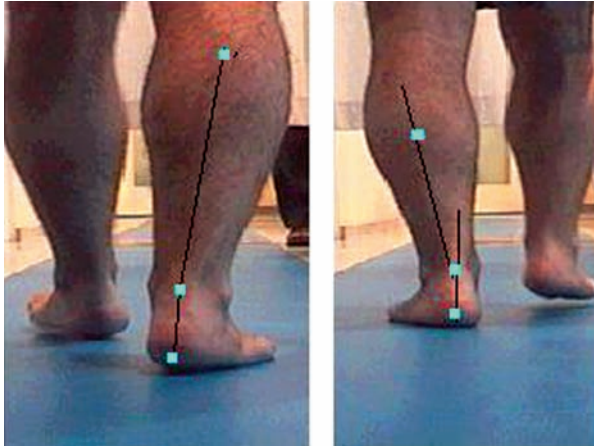
A partir de aquí la propia aceleración, unida al descenso del cdg, hace que el esfuerzo sea menor, ya que además coincide con una fase en la que ambos pies están en contacto con el suelo. Sería el momento de apoyo bipodal, durante el cual el pie atrasado está realizando un trabajo puramente de empuje, siendo el adelantado el protagonista en el “arrastre” hacia el nuevo ciclo dinámico. El trabajo de “empuje” requiere un sistema tipo palanca y por tanto necesita fuerzas de impulso y no de compresión. Se inicia con el apoyo de cinco palancas y finaliza con el del pulpejo del primer dedo. Por ello al principio requiere más esfuerzo muscular y solicita la contracción del músculo más potente de la pierna: el tríceps, hasta finalizar con el más débil: el flexor propio del primer dedo.



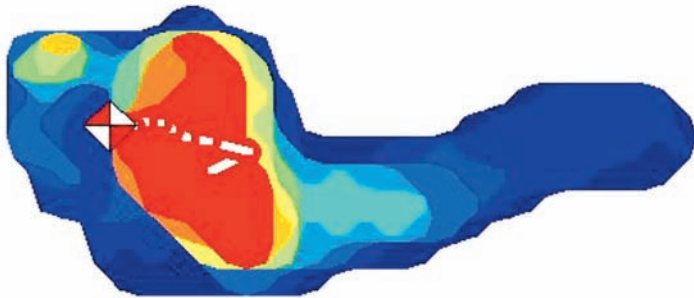
Huella con detalle del mapa de presiones obtenida mediante un procesador motorola (sistema Podo Computer-Martín Rueda)



Huella actual obtenida por sistema Podo Computer (Martín Rueda)



*La fase unipodal somete el pie a la mayor carga,
que es absorbida mediante la pronación*



Presiones metatarsianas en fase de impulso

Simultáneamente, este trabajo que se va desestimando en el pie atrasado va siendo requerido en el adelantado, que se con-

su cirugía es difícilmente resolutive a largo plazo, en especial si en su práctica han prevalecido los objetivos estéticos sobre los biomecánicos.

DISFUNCIONES DEL PRIMER RADIO

No sólo es importante la longitud del primer radio, sino que hay otras alteraciones de éste que pueden causar patología, como son la hipermovilidad, la dorsiflexión o flexión plantar exageradas, o la angulación excesiva en relación con el segundo radio, además de la fuerza prensil del dedo.



■

MECANISMOS ACOMODATIVOS
INTERSEGMENTARIOS DURANTE LA DINÁMICA

Si no se produce este cambio en la orientación del antepié, forzosamente tendrá que acortarse el tiempo de trabajo de los segmentos externos, acumulándolo sobre los internos; es decir, se producirá un aumento de intensidad/tiempo a nivel de los metatarsianos segundo y/o primero, a la vez que un efecto rotacional meta-suelo, cuya consecuencia sería la clinodactilia interna de los dedos 2 a 5, y la deformación en *rigidus* del primero si se trata de un index plus, o en valgo si, por el contrario, nos encontramos ante un acortamiento anatómico o una hipermovilidad de aquél.

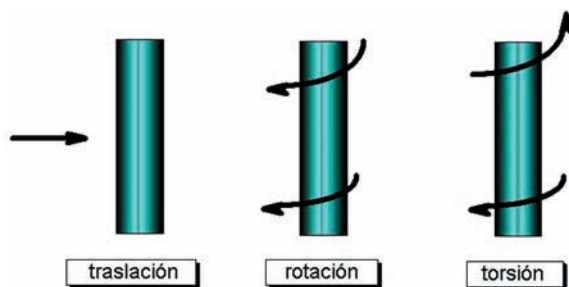
En cualquiera de los supuestos anteriores, tanto relacionados con el pie como con la pierna, a nivel articular se modifican los desplazamientos articulares produciéndose consecuentemente fricciones intraarticulares con compresión externa, y a nivel muscular, sobrecargas de la cadena muscular de cierre.



Fórmula metatarsal lineal oblicua

dad vectorial, es decir, tiene magnitud y dirección. También tiene una línea de acción y un punto de aplicación. Como ejemplos más claros de fuerzas tenemos la acción de la gravedad, la reacción del suelo y la tracción del músculo.

Estas fuerzas, aplicadas a un cuerpo rígido, pueden producir tanto traslación como rotación, pero cuando actúan en sentido contrario sobre el mismo cuerpo, en sus dos extremos, producen torsión.



Para calcular la magnitud de la fuerza que se ejerce sobre un cuerpo, aplicamos la Segunda Ley de Newton:

$$F \text{ (newton)} = M \text{ (kg)} \cdot a \text{ (m/s}^2\text{)}$$

Para calcular el valor de la torsión, o momento de la fuerza, se aplica la fórmula $T = f \cdot d$, siendo F la fuerza ejercida sobre el cuerpo, y d la distancia perpendicular entre la fuerza que aplicamos, o brazo de palanca, y el eje de rotación.

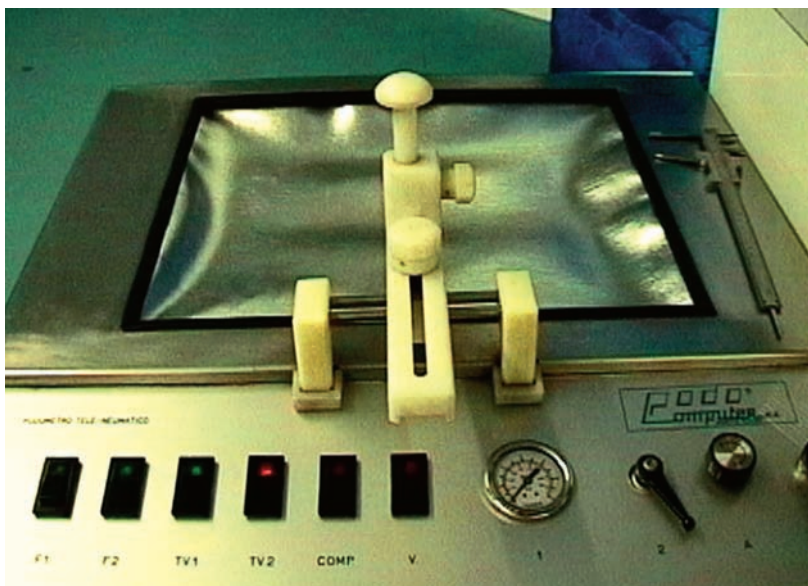
Aplicado esto al músculo, resulta que la proximidad del tendón al eje de la articulación determina la longitud del brazo de palanca a través del que actúa la fuerza de éste. Así pues, los músculos cuya inserción esté más lejos del eje de la articulación tendrán un brazo de palanca más largo, por lo que pueden producir más fuerza que otros músculos que tengan mayor sección, pero que se inserten más próximos a la articulación.

Anotaremos la posición de los hombros, de las columnas cervical, dorsal y lumbar, de la pelvis, de las rodillas, de las tibias y de los pies, antepié y dedos, así como las actitudes preferenciales.

UTILLAJES PARA LA EXPLORACIÓN ESTÁTICA

- Podómetro o superficie equilibrada y a ser posible con tallímetro y báscula
- Plomada
- Nivel
- Goniómetros para medición en el plano horizontal y vertical

(Si usamos sistemas informáticos, algunos de ellos ya llevan incorporadas herramientas de medición).



Podómetro Podo Computer para la valoración de presiones y confección del molde

capítulo

2



INTRODUCCIÓN A LA
BIOMECÁNICA DEL PIE



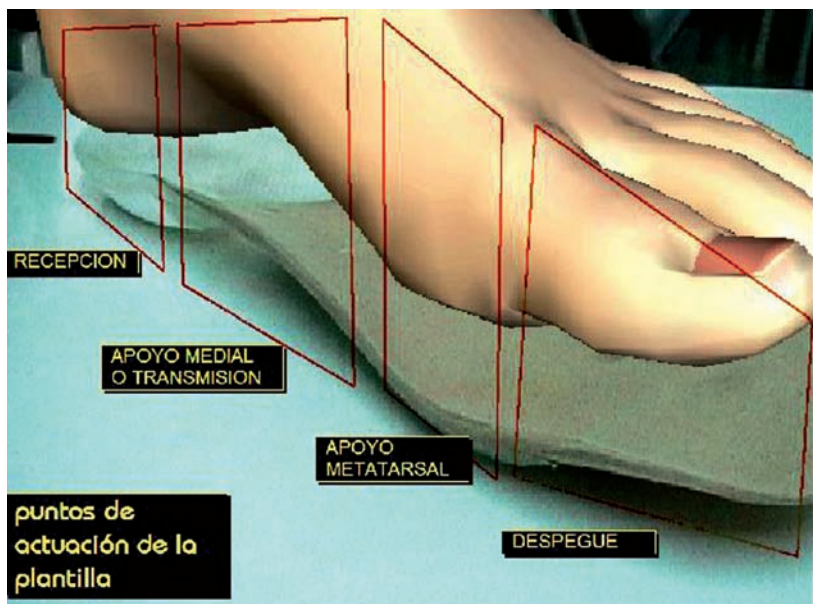
Cresta para dedos fabricada sobre el pie a base de silicona



Plantilla de polipropileno con elementos adicionales de material más blando y elástico

las lesiones de apoyo se caracterizan por tener un fondo de disfunción estructural, que podemos intentar compensar, pero no cambiar, y que por tanto pueden tener su límite.

Debemos explicar que una plantilla no es válida para toda la vida y que las correcciones o compensaciones que efectuamos mediante una ortesis van encaminadas a ofrecer un plano de trabajo equilibrado o diferente que puede ser óptimo en aquel momento, pero no cuando cese la sintomatología, y que cuando aparecen las molestias ya existe una lesión y el paciente ha agotado sus recursos de acomodación para aislarla o reducirla, y que, por tanto, se requiere una acomodación del pie y de la pierna a la nueva situación y un tiempo de adaptación y regresión sintomática, por lo que se debe tener paciencia. Teniendo en cuenta que



La plantilla debe ofrecer una superficie que compense las alteraciones de carga

Como su nombre indica, se trata de un péndulo introducido en un círculo o esfera para mediciones en grados. En su extremo basal lleva incorporada una pinza y un fiel, mediante lo cual podemos aplicarlo abrazando la zona a medir.

El péndulo va aplicado sobre un pequeño cojinete debidamente contrapesado para evitar roces que pudiesen falsear la medición y conseguir un frenado del movimiento pendular rápido.

Podemos variar la posición de la pinza, así como aplicar otros elementos que lo hacen útil para mediciones en diversos planos, tales como torsiones tibiales, extensión de la rodilla, abducción de las extremidades, valguismos, varismos, etc. No considero interesante el exponer todas y cada una de las maniobras exploratorias, que no es el objeto de este tratado, sino simplemente algunas como referencia.

Valoración angular de la rotación femoral

Aplicando el fiel del goniómetro pendular perpendicularmente a la rótula, abrazando los cóndilos femorales, obtendremos el grado de desviación de la rodilla con el paciente relajado en posición de decúbito supino.

A continuación llevaremos este punto a un eje vertical y, manteniendo el goniómetro fijado a la pierna, ejerceremos un movimiento rotatorio hacia fuera que nos marcará la amplitud máxima del movimiento en rotación externa de la art. coxofemoral. Haciendo idéntica maniobra en sentido opuesto, obtendremos el valor de la rotación interna de dicha articulación. No debe efectuarse la maniobra de movilización con la mano que fija el goniómetro para evitar desplazamientos de tejidos blandos, sino con la mano puesta colocada a distancia (p. ej., tercio inferior de la tibia). Habremos obtenido por tanto tres valores:

MEDICIÓN DE LA AMPLITUD DE LA ART. MEDIOTARSIANA

Funcionalmente, al valorar la amplitud del movimiento de la art. mediotarsiana estamos poniendo en juego los movimientos de las articulaciones de Chopart, Lisfranc, escafo-cuneales e intercuneales. Lo que pretendemos con esta valoración es conocer la capacidad de adaptación del antepié a planos laterales, sin llegar a desequilibrar la art. subastragalina, es decir, manteniendo un retropié neutro. Por tanto, estaremos valorando movimientos sobre un eje longitudinal en relación con el pie, mediante los cuales podemos llevar su parte anterior hacia la supinación o varo o hacia la pronación o valgo.

Esta valoración angular es de suma importancia, ya que, cuando la articulación quede bloqueada o parcialmente limitada en la supinación o en la pronación, requerirá la participación de otras articulaciones para que el antepié pueda apoyar sobre el suelo en toda su amplitud y, por tanto, estará provocando movimientos torsionales o adaptaciones rotacionales a distancia.

Manteniendo al paciente en la camilla, en decúbito supino, aplicaremos la parte posterior del goniómetro sobre el talón a través de la pinza incorporada y haremos presión lateral para mantenerlo fijo y alineado con el eje longitudinal de la pierna. La parte anterior del goniómetro se deslizará sobre el antepié hasta hacer coincidir su centro sobre la cabeza del segundo metatarsiano. Al aplicar así la pala anterior del goniómetro sobre la zona metatarsiana por la cara plantar, en la citada posición, obtendremos la lectura directa de la relación entre los planos inferiores de antepié y retropié. Podremos en esta posición proceder a la lectura directa de la amplitud global de la fórmula metatarsal por el ángulo que forman anteriormente las cabezas metatarsianas en relación con el segundo radio. El valor normal dará una angulación de



La sobrecarga del cuarto metatarsiano en una fórmula transversa fuerza una pronación de la art. mediotarsiana y una contracción del peroneo lateral largo, hasta equilibrarla con el apoyo del primer radio

ducir esta sobrecarga, ha de producirse un mecanismo de compensación que desplace el peso hacia los metatarsianos más internos a base de reducir el tiempo de trabajo de los externos, es decir, un giro hacia la pronación, sea a nivel del antepié, a nivel del pie en conjunto o un efecto torsional interno en la pierna.

Cuando es una fórmula metatarsal transversa, generalmente la sobrecarga se produce sobre el cuarto metatarsiano, ya que la mayor movilidad del quinto radio, unido al mecanismo de “huida” hacia el borde interno del pie, reduce la hiperpresión de éste. El mecanismo compensatorio tiende a llevar la rodilla a un plano frontal, viéndose la tibia sometida a un mecanismo de torsión que reduce el ángulo de torsión bimaleolar.

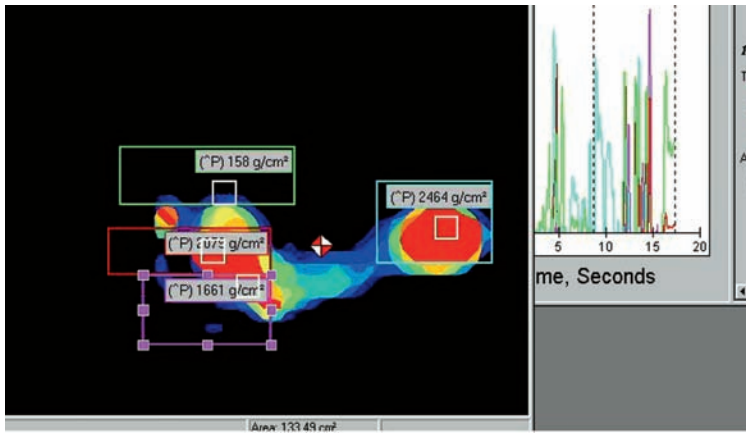
gulo de interrupción metatarsal anterior o fórmula metatarsal propiamente dicha o a alteraciones de la amplitud de las arts. mediotarsianas). El denominador común es que varían los tiempos de amortiguación del pie, con incremento de las fuerzas de sentido lateral con efectos rotacionales.

Dado que esta fase de apoyo pie-suelo tiene una relación directa con la calidad del impulso, cuando se altera modifica la velocidad de desplazamiento laterointerno del vector de barrido anterior o tiempo de trabajo metatarsal, o tiempo de amortiguación, patología en fase de impulso.

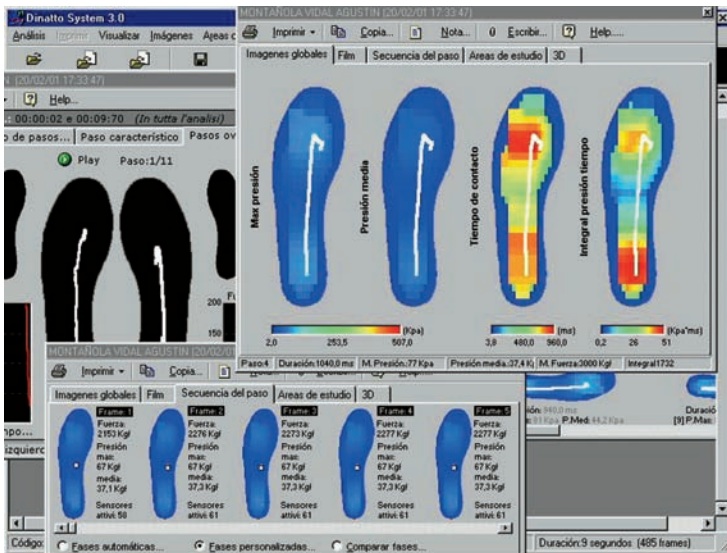
Cuando el pie es normal, pero la patología procede del componente suelo, nos encontramos con terrenos muy duros, y por consiguiente con incremento de la onda de choque, o muy irregulares, con su repercusión a nivel de la calidad y estabilidad del apoyo, o muy blandos, que “retrasan” el rebote al disminuir la fuerza de reacción, además de desequilibrar el apoyo por la deformación del suelo. También podemos incluir en este apartado la elección de zapatillas incorrectas, que no estabilizan suficientemente el pie cuando los elementos fibroelásticos y los activos (músculo, ligamento y componentes periarticulares) empiezan a acusar el cansancio.

Si el problema es un desequilibrio o desalineación de los ejes, se modificarán los momentos de trabajo articular, produciendo patología tanto a nivel óseo como ligamentotendinoso, siendo necesarios, por tanto, materiales con fuerza suficiente para neutralizarlos sin pérdida de amortiguación, por lo que la base del soporte debe ser polipropileno, ya que es el único material capaz de cumplir esta función. Si además interesa incrementar la amortiguación, emplearemos el polipropileno junto con algún material microporoso o elastómero, eligiendo cuidadosamente su resistencia a la fatiga y su grado de dureza (el ser más blando no quiere decir que necesariamente sea más efectivo, ya que pro-

PROTOCOLO DE EXPLORACIÓN EN PODOLOGÍA



Selección de pequeñas áreas de estudio, con valores de carga / tiempo



Las plantillas con sensores incorporados son la última aportación de la electrónica al estudio de los apoyos, aunque su uso debe hacerse con máxima precaución por la posibilidad de que ofrezcan datos erróneos como desplazamientos dentro del calzado, irregularidades de la suela, etc.

Es importante que, antes de proceder al estudio de las alteraciones dolorosas del antepié, comúnmente conceptuadas con el diagnóstico genérico de metatarsalgias, tengamos en cuenta una serie de consideraciones, ya que esta zona del pie, por su importancia durante la estática y la dinámica, puede ser asiento de diversas patologías que con mucha frecuencia están situadas a distancia.

En esta florida patología tiene un papel decisivo la rápida evolución que, como consecuencia del calzado y el sedentarismo, está adoptando el pie. Pocos adultos conservan la capacidad de abrir en abanico los dedos del pie. Su musculatura intrínseca



El calzado irracional atrofia progresivamente la musculatura intrínseca del pie e inestabiliza considerablemente la pisada

Las alteraciones en longitud excesiva producen la sobrecarga directa del primer radio, que generalmente se compensa con la actitud de supinación del antepié. La patología asociada más frecuente es el hallux rigidus, y el pulpejo del primer dedo se encuentra hipertrofiado.



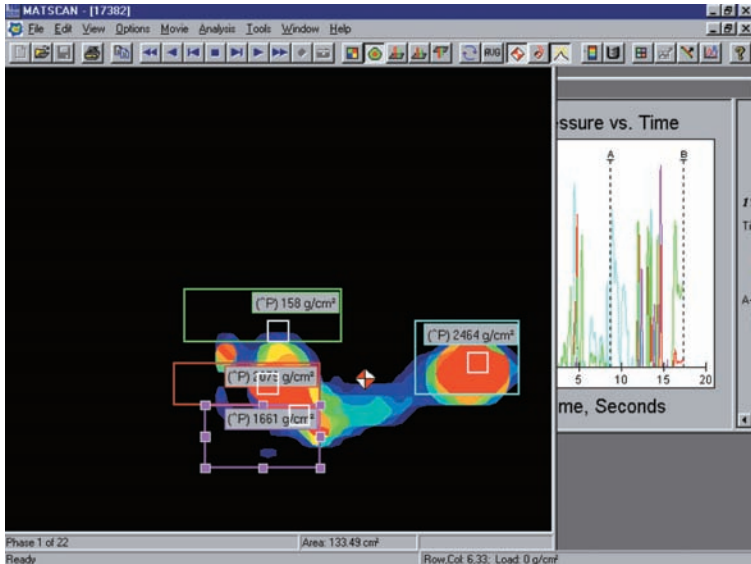
Evolución mecánica en un caso de index plus con hallux rigidus y luxación del segundo dedo

Cuando hay una limitación funcional de la art. metatarsofalángica del primer radio, en el momento del despegue existe un desplazamiento externo con una supinación exagerada de la mediotarsiana que, al incrementar el tiempo de trabajo en rotación sobre la segunda articulación metatarsofalángica, acaba luxándola, apareciendo la clinodactilia.

INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DINÁMICO DE LA REGIÓN METATARSODIGITAL



Los sistemas informáticos nos ofrecen las superficies de carga diferenciadas en escalas colorimétricas, tanto en estática como en dinámica



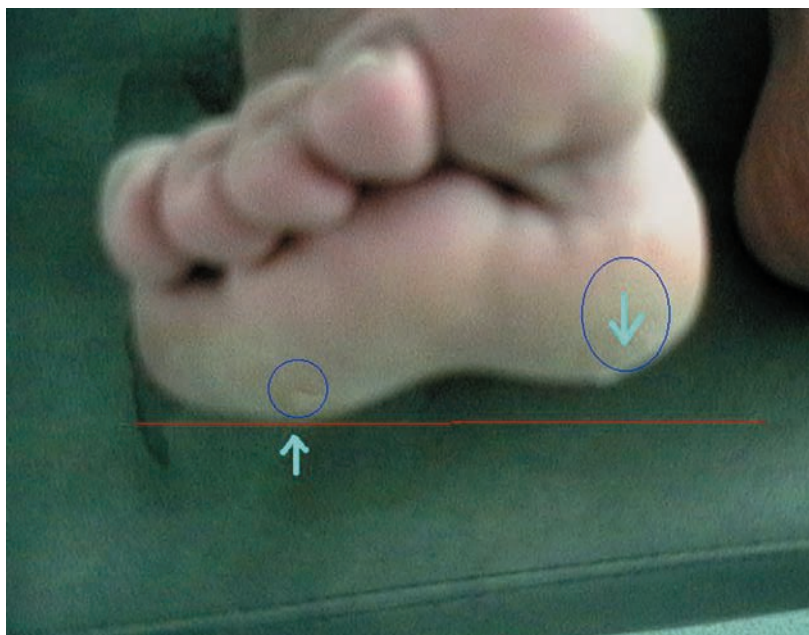
Las plataformas de sensores nos permiten medir el tiempo y la intensidad de apoyo de cada metatarsiano

desplazamientos laterales, inestabilidad de la cápsula y subluxación de los dedos.

La deformidad que la carga produce sobre el pie, lo que conocemos como pronación fisiológica, estimula los receptores de presión y acumula en los arcos plantares una energía proporcional a su grado de deformación, que será aprovechada para convertirla en trabajo cuando el pie tenga que empujar hacia arriba el centro de gravedad, es decir, para el momento de impulso.

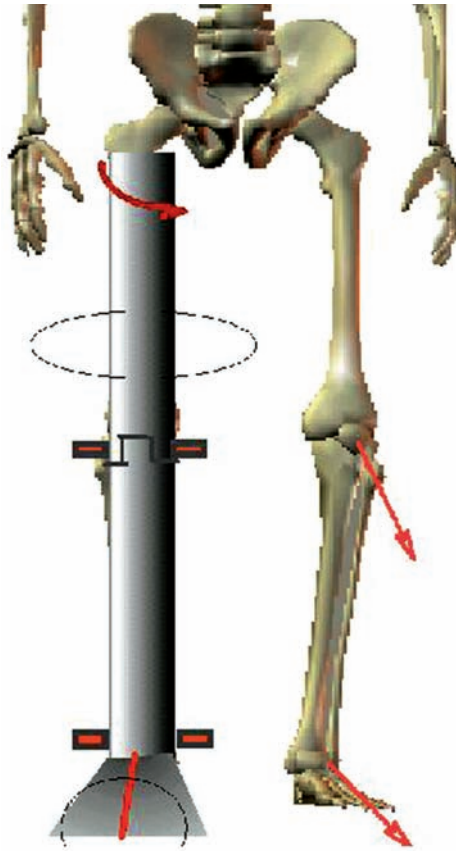
Mecánicamente, cuanto mayor ha sido la carga exigida al pie, mayor es la energía acumulada, generándose una curva o “par” que tiene una fase de elasticidad durante la cual el pie soporta la carga perfectamente y que asciende hasta un “momento” óptimo. A partir de éste, entraríamos en una fase plástica en la que la estructura no soporta más carga, por lo que en la marcha hay un punto económico de rendimiento o momento de inercia, por debajo y por encima del cual el aprovechamiento energético no es el adecuado; esto es, la energía producida y la consumida no se corresponden: cansa el caminar demasiado despacio porque se genera menos energía que la requerida, pero también ir demasiado rápido porque gastamos más energía que la producida.

Requerimos, por tanto, unos pies elásticos, pero estables, para que la mecánica sea equilibrada. Si la elasticidad o coherencia de las estructuras óseas es inadecuada, solicitaremos más la cápsula y los ligamentos, a la vez que se somete las caras articulares a cargas anormales o fricciones por inestabilidad. El músculo interviene por el requerimiento de un reflejo capsuloarticular y aumenta su tensión, pero es un trabajo extra que lo fatiga. Se presenta el cansancio, las entesopatías, las tendinopatías, las sobrecargas musculares y finalmente la lesión. El individuo no es consciente; son situaciones que se resuelven localmente. Sólo es consciente cuando siente dolor, es decir, cuando su sistema ya no es suficiente para seguir manteniendo la tensión y se produce la fatiga o la lesión.



La alteración craneocaudal del cuarto metatarsiano obliga a una flexión plantar exagerada del primer radio, sobrecargándolo

**MECANISMOS ACOMODATIVOS
INTERSEGMENTARIOS DURANTE LA DINÁMICA**



Mecánicamente, la alteración de cualquier parte repercute en el resto de la cadena

su longitud, por su situación en relación con el adyacente, por la situación global de la bisagra metatarsiana o por descompensaciones con otros segmentos, trabajan más de lo normal, esto es, se sobrecargan. Ello alerta las terminaciones nerviosas sensitivas, que captan más apoyo y tratan de disiparlo reduciendo el tiempo de trabajo, es decir, acelerando el paso sobre el punto de do-

4. Centro de la articulación tibioastragalina, cara anterior, tomando una referencia fija que podría ser la zona intermedia entre el e. c. de los dedos y el e. p. del primer dedo.
5. Cara dorsal de la articulación metatarsofalángica del segundo dedo.
6. Haciendo una flexión plantar forzada de los dedos, se nos manifestará el perímetro distal de las cabezas metatarsianas o fórmula metatarsal, por lo que, si nos interesa tener un valor aproximado del mismo, con el rotulador marcaremos un punto en la parte media más distal de cada una de las interlíneas articulares.

No descuidaremos, por la cantidad de información que nos aporta, el estudio de los desgastes provocados en el calzado.



El calzado, tanto la suela como la plantilla interior, nos muestra zonas de desgaste de gran valor diagnóstico