

# Introducció a la biomecànica del peu (IV)

**M. RUEDA**

**Podòleg.**

**Centre d'Estudis del Peu.  
Professor de la Univ. Internacional de Catalunya. Escola Gimbernat**

CORRESPONDÈNCIA:

Martin Rueda

Avda. Generalitat, 5, 4ª Planta

08922 - Sta. Coloma de Gramenet

e-mail: martinrueda@martinrueda.com

Número corresponent al quart d'una sèrie d'articles monogràfics dedicats a la anatomia i funcionalitat del peu.

Hem comptat amb la col·laboració d'un prestigiós especialista en aquesta matèria, el Sr. Martín Rueda, autor d'una extensa obra referent al peu i reputat professional en aquest camp.

Aquesta sèrie d'articles abarcarà cinc números de la revista i constituirà en conjunt un petit tractat de anatomia funcional i biomecànica del peu.

## CONSIDERACIONS PREVIES A LA VALORACIÓ METATARSAL

Es important que abans d'introduir-nos en l'estudi de les doloroses alteracions de l'avantpeu, habitualment conceptuals amb el diagnòstic genèric de metatarsàlgies, tinguem en compte un seguit de consideracions, doncs aquesta zona del peu, per la seva importància en l'estàtica i la dinàmica, pot veure's afectada per diverses patologies que, tot sovint, es troben situades a distància.

En aquest ventall de patologies hi juga un paper decisiu la ràpida evolució que, a conseqüència del calçat i el sedentarisme, està adoptant el peu. Pocs adults conserven la capacitat d'obrir com un ventall els dits dels peus. La seva musculatura intrínseca es troba pràcticament atrofiada per l'ús

El calçat irracional atrofia progressivament la musculatura intrínseca del peu i inestabilitza considerablement la trepitjada



d'un calçat compressiu i antifisiològic i per la manca de sols irregulars on poder caminar i que el peu desenvolupi la seva potència i possibilitats reals.

Un clar exemple és el múscul abductor del primer dit, en franca regressió funcional, i responsable, entre altres factors, de la proliferació d'hallux i d'alteracions de l'arc longitudinal intern.

Per altra part, s'està fomentant clarament l'esport especialitzat i competitiu en el qual el peu es veu sotmès a càrregues repetitives que, a vegades, superen el límit de resistència mecànica, provocant l'aparició de patologies pròpies i característiques de certs esports.

Per això, en el moment de fer una valoració metatarsal són molts els factors que s'han de tenir en compte per tal que, d'alguna manera, poder representar en la consulta aquells gests o posicions que siguin més repetitius o afins al treball, posició social, laboral o activitat esportiva que practiqui el pacient.

Algunes activitats esportives posen a prova la capacitat i resistència dels nostres peus



### EVOLUCIO DE L'ESTUDI METATARSAL

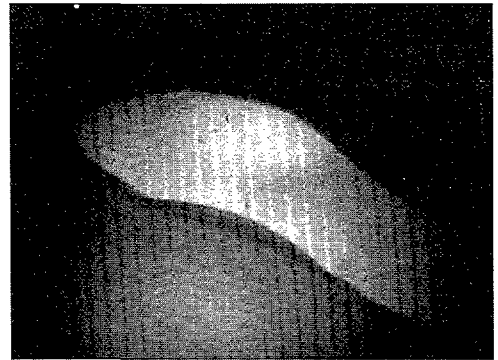
Com podem veure, els conceptes referents a l'etiologia, diagnòstic i tractament de les afeccions metatarsals han patit en els darrers temps una ràpida evolució, degut tant a la seva contemplació dinàmica com al desenvolupament de noves tècniques de diagnòstic i a l'aparició i incorporació de materials més adients.

Fins no fa massa, el terme metatarsàlgia s'utilitzava com únic diagnòstic per determinar una àmplia patologia amb recolzament a l'avantpeu i el seu tractament habitual es resumia a l'aplicació més o menys encertada de descàrregues retrocapitals la missió de les quals era apujar les diàfisis fins un pla suficient per a què en estàtica disminuís la intensitat del recolzament. Això podia ser més o menys útil en persones d'edat avançada, en les que la fase d'impuls sobre l'avantpeu és pràcticament nul·la, o en casos de patologies purament estàtiques.

Aviat es va observar que amb això només s'actuava en un curt espai de temps dintre del procés dinàmic i que, per tant, la millora era objectivable només en el moment estàtic.

Amb l'intent de perllongar el temps d'actuació de la plantilla, aquesta es va allargar amb materials flexibles de menor densitat, tipus foam, i es van introduir les silicones.

Plantilles de diversos elements



Ambdues aportacions van constituir un important avanç, amb resultats més satisfactoris, al temps que van servir per demostrar, per les seves zones de depressió, que hi ha un moment en el qual les pressions s'avancen considerablement durant l'impuls, de manera especial quan les plantilles s'utilitzaven amb sabates de taló.

A partir d'aquí, semblava més lògic que les exploracions i els motlles s'efectuessin posant el peu en un lleuger equinisme, fet pel qual va ser necessari l'ús de talons de diverses alçades per aconseguir el diagnòstic i acoblar la plantilla.

Això va fer que els materials rígids, tipus plexidur, durallumini o fibra de vidre es substituïssin o completessin amb altres més elàstics, que ens permetessin superar la línia dels metatars-falanges, amb el què s'aconseguia major percentatge d'èxits. S'inicia l'era del cornaylon, foams de diverses dureses, resines, sobortholent, inclusions de silicona, etc.

Malgrat això, van seguir existint casos en els quals inexplicablement aleshores, l'índex de satisfacció no era el desitjat. Es fa imprescindible reconsiderar tot l'utilitzat i centrar l'atenció cada vegada més en l'àrea metatars-digital, és a dir, primar l'atenció sobre el moment dinàmic o d'impuls. S'amplien els conceptes de valoració funcional de la fórmula metatarsal, considerant el seu pla de moviment, els efectes de torsió i les longituds metatars-falàngiques com segments aïllats.

Apareixen sistemes per a valoració i quantificació de torsions i angles, així com de l'empremta dinàmica amb ad-

hesius aplicats sobre el podoscopi amb il·luminació tangencial; en un pla més científica, s'inclou l'electrònica i els sensors de pressió, tot i que pel seu alt cost, encara resulten privatis.

### ESTUDI MECANIC DE LA REGIO METATARS DIGITAL

L'avaluació de les conclusions exposades ens dona peu a endinsar-nos en l'estudi de l'avantpeu sota un prisma purament biomecànic, tenint en compte que la seva funció més important la realitza en la dinàmica i, dintre d'aquesta, només en la fase purament d'impuls.

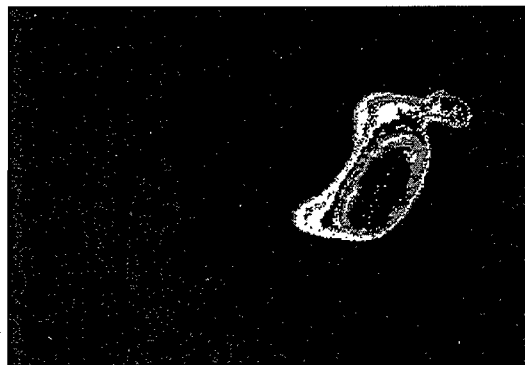
Acceptem que en l'execució d'un pas es realitzen moviments flexo-rotatoris, que tenen com objectiu desplaçar el centre de gravetat del cos en un sentit anterior el més pla possible, buscant sempre un sistema ideal de treball econòmic.

En dinàmica, el moment que requereix més estabilitat per part del peu seria el de recolzament unipodal, quan es veu sotmès, a més a més, a una major compressió vertical, i el de més esforç en impuls per desplaçar el centre de gravetat, és a dir, al final del recolzament total i a l'inici de l'elevació del taló, o primer moment d'impuls, fins a la superació del centre de gravetat sobre la vertical.

A partir d'aquí, la pròpia acceleració unida al descens del centre de gravetat fan que l'esforç sigui menor, donat que, a més a més, coincideix amb una fase en la qual ambdós peus es troben en contacte amb el terra. Seria el moment del recolzament bipodal, durant el qual, el peu enrederit està realitzant un treball purament d'empènyer, essent l'avançat el protagonista en "l'arrossegament" vers el nou cicle dinàmic. El treball "d'empènyer" requereix un sistema tipus de palanca i, per tant, necessita forces d'impuls i no de compressió. S'inicia amb el recolzament de cinc palanques i finalitza amb el tou del primer dit. Per això, al principi requereix més es-

forç muscular i sol·licita la contracció més potent de la cama: el tríceps, fins finalitzar amb el més dèbil, el flexor propi del primer dit.

Pressió metatarsal en fase d'impuls



Al mateix temps, aquest treball que cada vegada té menor importància en el peu enrederit, va passant al peu avançat, que es convertirà en volta per aguantar per uns moments tot el pes del cos i permetre, d'aquesta manera, que l'altre peu passi a fase d'oscil·lació. Aquest mecanisme fa que mai treballin al mateix temps els dos sistemes equivalent en un o altre peu durant la dinàmica.

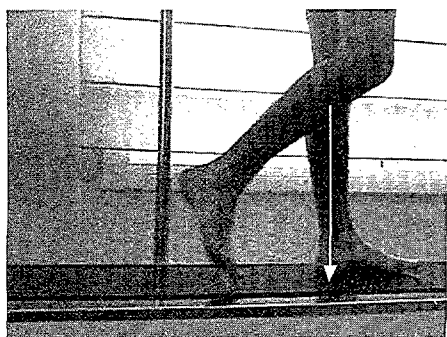
En aquest moment cinemàtic, és de gran importància no només la disposició i situació de les diverses peces esquelètiques del peu, sinó també l'orientació dels seus eixos i cares per "veure" el trajecte que seguirà un punt imaginari en el qual es concentra una major pressió. Per veure com aquest punt es desplaça d'un os a un altre, per força haurem de fixar-nos en els sistemes de músculs del peu, el recorregut dels quals imprimeix una direccionalitat anterior i latero medial.

Com veurem en el capítol corresponent a la seqüència muscular, cada múscul treballa durant un temps, un moment i en una direcció determinada, en forma de seqüència, que si s'altera trenca l'esquema de funcionament normal, pel qual sol·licita que un altre múscul treballi fora del seu temps desencadenant un reajustament, que sempre, al final, es tradueix en torsió o sobrecàrrega en algun punt de la cadena.

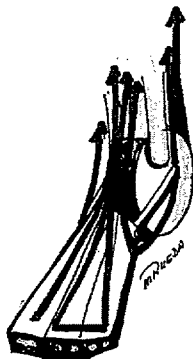
L'observació de l'anatomia del peu, en la que hem constatat que es perd tant resistència òssia com potència muscular, d'enrera a endavant, així com l'orientació de les diferents correderes anatòmiques per on passen els tendons que direccionen la seva força justifiquen totalment aquest fet.

Durant el moment d'empènyer o d'impuls pròpiament dit, el centre de màxima càrrega passa de l'arc extern: meta-

La fase unipodal sotmet al peu a la major càrrega, que l'absorbeix mitjançant la pronació



Durant el recolzament de l'avantpeu, la politja central és dirigida i estabilitzada per les corretges tendinoses retromaleolars. Quan es produeix un canvi en la direcció, aquestes es sobrecarreguen en un intent d'estabilitzar la pressió sobre l'avantpeu



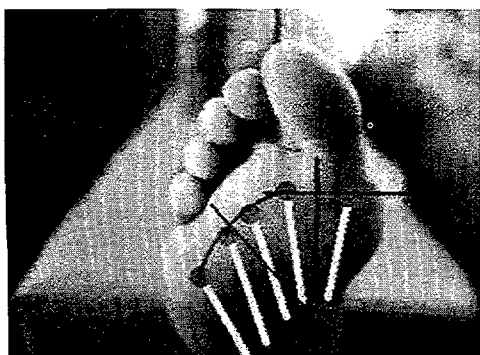
tarsians cinquè i quart, vers el primer dit a través de les articulacions metatarsals falàngiques, fet pel qual cadascuna d'elles ha realitzat un treball total que serà el producte del temps de recolzament per la seva intensitat.

Això és possible donat que cadascun dels metatarsians en el moment de recolzar-se es veu sotmès a dues forces: una en sentit anterior i l'altre en sentit latero-medial, derivada del recorregut vers la pronació; la resultant d'ambdues, projectarà la càrrega directament al metatars-falàngic següent.

Per tal que aquest desplaçament sigui harmònic i es produeixi una perfecta distribució de càrregues i, per tant, una progressió adient, és necessària una cadència en els recolzaments que està marcada per la longitud i orientació dels metatarsians que, al mateix temps, es troben en perfecte sincronisme amb l'orientació de tots i cadascun dels segments cama-peu.

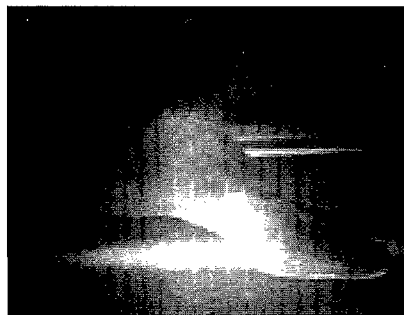
Si unim amb una línia els caps metatarsals, obtindrem un traç uniforme, progressiu i el·líptic, el centre de circumferència del qual estaria situat a l'alçada de la segona falca.

La línia que uneix les articulacions metatars-falàngiques representa la frontissa o fórmula metatarsal.

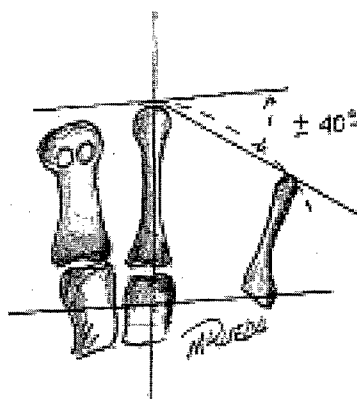


Aquesta línia seria coincident amb la fórmula metatarsal i equival a la frontissa anterior sobre la que produïm el moviment; per tant, aquesta frontissa ha d'estar compensada amb la resta d'articulacions de l'extremitat per mantenir una forma de treball equilibrada i una única direcció.

L'orientació i tipus de fórmula metatarsal direccionen anteriorment el moviment



Si tracem l'eix dels metatarsians segon i cinquè i una línia tangencial que uneixi els seus caps, obtindrem el valor angular de la fórmula metatarsal que seria l'equivalent a l'angle format per aquesta línia i la perpendicular al cap del segon metatars. Aquest angle es situa al voltant de 30-40 graus.



Els metatarsians formen un arc de radi amb base en la 2ª falca.



## VALORACIONS DE LA FÓRMULA METATARSAL

Hem definit la fórmula metatarsal compensada quan el seu valor es situa al voltant dels 30-40°. Aquest eix de moviment oblic ha de mantenir una relació amb els 15-20° de torsió bimaleolar, amb el genoll en un pla coronal i una avantversió del coll femoral d'aproximadament 15-20°. Només en aquestes condicions, es realitzarà un moviment dinàmic correcta i una cadència de recolzament de cada metatars uniforme i progressiva. Qualsevol variació en el angles descrits provocarà trajectòries bidireccionals i sotmetrà l'extremitat a un efecte de torsió, que a nivell de l'articulació es tradueix en l'aparició de forces tangencials que provoquen mecanismes de "fricció" i no de desplaçament, amb el conseqüent deteriorament biomecànic.

Les variacions en l'orientació de l'avantpeu o en la fórmula metatarsal requereixen moments torsionals per ser compensades



Aquestes forces tangencials pròpies dels efectes de torsió poden ser parcialment compensades muscularment i, en aquest cas, els temps de treball dels grups musculars, també es veuran modificats, originant-se les conseqüents sobrecàrregues.

Lògicament, ens n'adonem de què una variació en la fórmula metatarsal, per si mateixa no pot ser valorada, sinó que sempre requereix, com ja hem dit, una valoració de conjunt, sota el principi de la globalitat: tot repercuteix en tot.

Tenint en compte que tot l'esforç es realitza amb referència a l'únic punt de recolzament i que aquest en el moment de l'impuls es limita a la zona metatars-digital, les seves variacions anatòmiques produiran modificacions en la cadència de treball de les sub-palanques, amb modificacions d'intensitat-temps i, conseqüentment, es manifesten sobrecàrregues relacionades.

Justament, per això, hem de valorar-les per arribar a conclusions sostenibles i proposem la següent taula de classificació:

### Variacions de la frontissa metatarsal

- Variacions angulars globals:
  - Fórmules obliqües
  - Fórmules transversals
- Variacions en la progressió metatarsal:
  - Progressions lineals
  - Progressions en roda dentada
  - Alteracions crani-caudals
- Variacions globals en l'orientació:
  - Metatars en adducció
  - Metatars en abducció
  - Avantpeu en pronació
  - Avantpeu en supinació

## VARIACIONS ANGULARS GLOBALES: OBLIQUES

### I TRANSVERSES

En aquest apartat faré referència a les variacions que globalment, en conjunt, poden presentar la línia anterior que constitueix la fórmula metatarsal contemplada com a frontissa dinàmica, tant pel que fa als increments o davallades del seu angle com al tipus de progressió que guarden entre sí els metatarsians segon a cinquè.

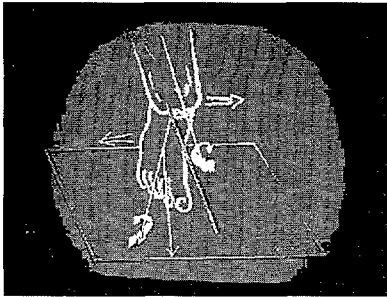
En relació amb l'angle, podrem agrupar-les en increments o davallades del seu valor normal, és a dir, per sota o per sobre dels 30-40° que s'han pres com valor ideal. Denominarem fórmules obliqües si disminueix l'angle i fórmules transversal quan aquest augmenta.

Quan l'angle disminueix i la fórmula es fa més externament més obliqua, si cada metatars mantingués un temps de treball adient, el resultat fóra que la trajectòria de la cama seria excessivament externa, és a dir, els peus anirien imprimint un desplaçament divergent a l'extremitat en relació amb la línia de progressió del cos. Aquesta trajectòria ha de corregir-se en cada pas de dalt a baix, amb el què es produeix un parell torsió interna, modificant-se en algun punt de la cadena l'angle de torsió.

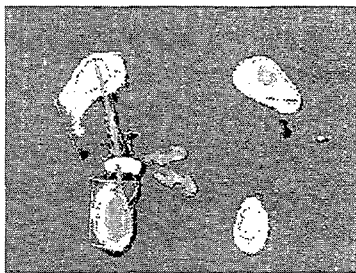
### Fórmula metatarsal obliqua



Esquema de funcionament de la fórmula obliqua: la inestabilitat externa pot compensar-se amb la rotació interna de la cama i l'orientació dels metatarsians en adducció



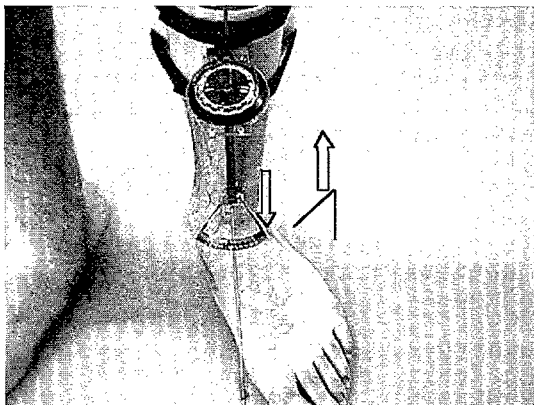
Els mecanismes torsionals de la cama i les sobrecàrregues metatarsians externes tenen un efecte directe sobre la transmissió de càrregues des de l'astràgal-escafoidea modificant la seqüència metatarsal i sobrecarregant l'arc intern



Podem trobar-nos amb l'alteració oposada, és a dir, fórmules metatarsals transverses, caracteritzades per un augment en la longitud dels segments externs, que donen un sentit excessivament transvers al perímetre anterior o fórmula metatarsal.

La major longitud dels metatarsians més estàtics (cinquè i quart) provoca la sobrecàrrega dels mateixos en augmentar

Per reduir la sobrecàrrega de la paleta externa, es genera un mecanisme de fugida vers la rotació interna i la pronació



la seva palanca. Per reduir aquesta sobrecàrrega ha de produir-se un mecanisme de compensació desplaçant el pes vers els més interns, a partir de reduir el temps de treball dels externs, és a dir, un gir vers la pronació ja sigui a nivell de l'avantpeu o a nivell del peu en conjunt o un efecte torsional interna a la cama.

Donat que aquestes alteracions de la fórmula són de caire morfològic, el nen des de petit ha de corregir trajectòries, per tant, adapta la seva dinàmica als punts i als temps de recolzament dels metatarsians. Per aquest motiu, hi haurà mecanismes compensatoris, és a dir, canvis en l'angle de torsió de la cama, o bé en la posició de l'avantpeu, per la influència de les lleis de creixement, desenvolupament i orientació del teixit ossi. L'existència d'aquests processos acomodatius, com veurem més endavant, podria ser la responsable dels canvis en l'orientació de l'estructura òssia.

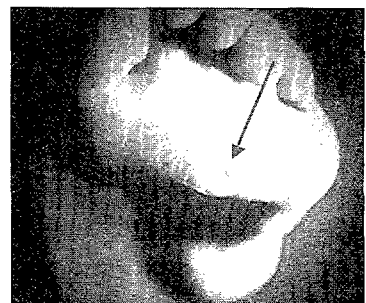
#### VARIACIONS EN EL TIPUS DE PROGRESSIO METATARSAL

Tal com hem exposat, el més habitual és que la relació de la longitud metatarsal sigui progressiva formant una línia perimetral anterior convexa, és a dir, arciforme. Aquesta seria la que oferiria un sistema de treball en forma de rodament, al mateix temps que una obertura cadencial de fora cap a dins que s'inicia amb el cinquè metatarsià i finalitza amb el segon conjuntament amb el primer radi.

Tanmateix, succeeix que, a vegades, la relació perimetral anterior forma una línia recta des del cinquè al segon cap; en aquest cas, parlariem de progressió lineal, o bé, que tot i sent arciforme algun dels caps supera, no arriba o es troba en diferent pla en relació amb aquesta línia. En aquest cas, es produeix un efecte de roda dentada amb pics de pressió.

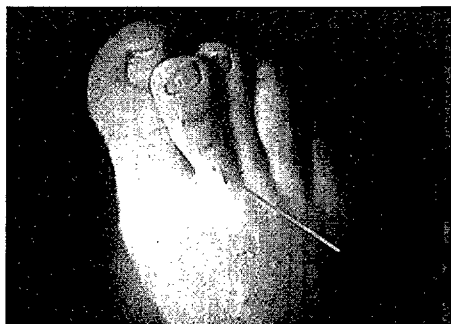
En la progressió lineal no es produeix la cadència normal dels recolzaments metatarsals sobrecarregant-se els extrems en no ser possible el rodament. Si, a més a més, de lineal és obliqua, el primer contacte de l'avantpeu sobre el terra es

Les fórmules en roda dentada, generalment, provoquen pics de pressió amb helomes puntuals



transmetrà bàsicament sobre el cinquè metatarsià i, des d'aquest, sobtadament al segon, provocant la subluxació del seu dit que es desplaça en clinodactília interna, col·locant-se en supradducció sobre el primer. Tant l'examen estàtic com el dinàmic revelarà dos punt de gran hiperpressió corresponents als segments cinquè i segon, amb la conseqüent repercussió sobre el primer radi que optarà per col·locar-se en rigidus o en valgus, segons la seva longitud o la seva capacitat funcional respecte al segon.

L'augment de la translació del vector de recolçament en la fórmula metatarsal obliqua, acumula càrrega en el segon radi amb un component de rotació intern de dalt a baix



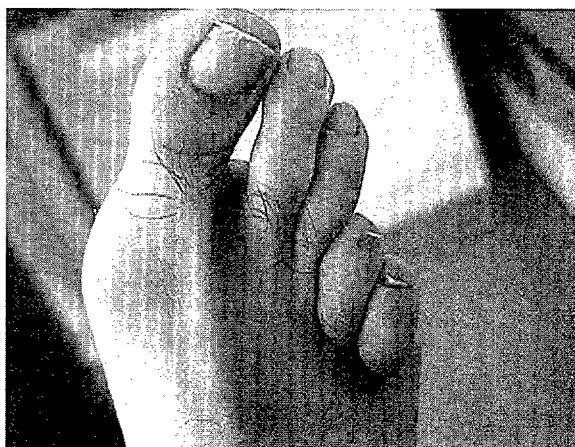
Quan es tracta d'una fórmula metarsal transversa lineal, generalment, la sobrecàrrega es produeix sobre el quart metatars, ja que la major motilitat del cinquè radi, unit al mecanisme de "fugida" vers la part interna del peu, redueix la hiperpressió del mateix.

En la fórmula en roda dentada, ja sigui per variació en la longitud d'algun metatars o per situació diferent en el plànol (alteració cràneo-caudal), la sobrecàrrega és puntual. Si es

tracta d'un segment llarg i situat en un pla inferior, es sobrecarrega aquest; si és curt o situat en un pla superior, es sobrecarrega l'adjacent per acumulació d'intensitat/temps.

Es produirà el mateix efecte que si fem rodar un anella, a la que hem suprimit brusquement la curvatura uniforme.

Fórmula metatarsal en roda dentada: la disminució de pressió en un metatars sobrecarrega el següent





# El teu millor avantatge la teva millor marca

Gelea Reial, taurina, Inositol i Concentrat de germen de blat de moro ric en policosanols i vit. C

## VITALITY sport

masterfarm

VIA ORAL  
15 sobres líquid

Vitality Sport és l'ajuda ergogènica amb Inositol i Octacosanol, útil en situacions de màxima necessitat energètica. Juntament amb la Taurina, la Gelea Reial i la Vitamina C, és el suplement nutricional que cal triar per aconseguir un rendiment màxim quan es fan esforços físics prolongats.

Una dosi proporciona: 1g de Taurina, 500 mg d' Inositol, 300 mg de Gelea Reial fresca i 7,5 mg de Policosanols, a més de 60 mg de Vitamina C.

Dosi recomanada: 1 sobre el dia

**Vitality Sport 15 sobres líquid**

masterfarm