



TREBALL ORIGINAL

Relació entre la postura del peu i la cinemàtica de la cursa: estudi pilot

Óscar Hernández-Gervilla^{a,*}, Carles Escalona-Marfil^a i Francisco Corbi^b

^aFacultat de Ciències de la Salut de Manresa-Universitat de Vic/Universitat Central de Catalunya, Manresa, Barcelona, Espanya

^bInstitut Nacional d'Educació Física de Catalunya, Centre de Lleida, Universitat de Lleida (UDL), Lleida, Espanya

Rebut el 4 de desembre de 2015, acceptat el 2 de març de 2016

PARAULES CLAU

Cursa;
Cinemàtica;
Peu;
Temps de recolzament;
Índex de postura del peu

Resum

Introducció: A partir de l'estudi de les variables cinemàtiques relacionades amb la cursa podem obtenir informació útil que ens permet optimitzar el rendiment i prevenir lesions. Sembla que hi ha un cert grau d'interrelació entre alguna d'aquestes variables i el tipus de peu. Entre les diverses metodologies de la classificació estàtica del peu destaca per la seva simplicitat l'índex de postura del peu.

Objectius: L'objectiu principal d'aquest estudi és analitzar la relació que hi ha entre l'índex de postura del peu i diversos paràmetres temporals de la cinemàtica de la cursa. Els objectius secundaris són valorar si els quilòmetres/setmana practicats i l'índex de massa corporal influeixen en aquests paràmetres.

Material i mètodes: Estudi pilot sobre 25 subjectes (15 homes i 10 dones) (edat $28 \pm 9,1$ anys; pes $67 \pm 13,3$ kg; alçada $1,69 \pm 0,08$ m; IMC $23,2 \pm 3,2$ kg/m²) en què s'analitzaren l'índex de postura del peu, el quilometratge setmanal d'entrenament, l'índex de massa corporal i paràmetres relacionats amb la cinemàtica de la cursa (temps de recolzament, temps de vol, temps de gambada i freqüència de gambada). Totes les valoracions es van realitzar sobre una cinta de córrer a una velocitat de 2,43 m/s. Les gravacions es van fer amb una càmera situada lateralment i a una freqüència de 480 Hz. Les variables cinemàtiques foren valorades amb el programa KINOVEA[®].

Resultats: De les diferents variables analitzades només el temps de vol ($t = 2,689$; $p = 0,013$) i la freqüència de gambada ($t = -2,249$; $p = 0,034$) mostraren diferències significatives en relació amb el volum setmanal d'entrenament. La resta de variables analitzades no mostraren diferències significatives ($p < 0,05$).

* Autor per a correspondència.

Correu electrònic: ohernandez@umanresa.cat (O. Hernández-Gervilla).

KEYWORDS

Running;
Kinematics;
Foot;
Contact time;
Foot posture index

Conclusions: L'índex de postura del peu de la mostra analitzada no es relaciona de manera significativa amb els paràmetres cinemàtics estudiats de la cursa. Els resultats d'aquest estudi suggereixen que de les diferents variables analitzades només el temps de vol i la freqüència de la gambada sembla que estan influenciades de forma significativa pel volum d'entrenament setmanal.

© 2016 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicat per Elsevier España, S.L.U. Tots els drets reservats.

Correlation between foot posture and running kinematics: a pilot study**Abstract**

Introduction: The study of running kinematics provides useful information for optimising performance and to prevent injuries. Some relationship has been found between running kinematics and foot type, but this remains unclear. One method for the static classification of the foot is the foot posture index, which stands out by its simplicity.

Objectives: The main objective of this study is to analyse the relationship between the foot posture index and various kinematic temporal parameters during running. Secondary objectives are to assess whether km/week and body mass index influence these parameters.

Methods: A pilot study was performed by analysing 25 subjects (15 men and 10 women) (age 28 ± 9.1 years; 67 ± 13.3 kg weight; height 1.69 ± 0.08 m; BMI 23.2 ± 3.2 kg/m²). An analysis was made of the foot posture index, kilometres per week, body mass index and temporal kinematics parameters during running were assessed (contact time, flight time, stride time and stride frequency). All measurements were performed on a treadmill at a speed of 2.43 m/s. The recordings were made using a camera at a frequency of 480 Hz. The kinematic variables were analysed with the software KINOVEA®.

Results: Of the variables analysed, only flight time ($t = 2.689$; $P = .013$) and stride frequency ($t = -2.249$; $P = .034$) showed significant differences related to km per week. Out of the other variables analysed, no significant differences were found ($P < 0.05$).

Conclusions: For the studied sample, the foot posture index is not significantly associated with the kinematic parameters analysed. The results of this study suggest that out of the different variables analysed, only the flight time and stride frequency seem to be significantly influenced by the weekly training volume.

© 2016 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducció

El peu és una estructura complexa caracteritzada pel gran nombre de teixits que el conformen (28 ossos, 33 articulacions, 112 lligaments, controlats per 13 músculs extrínsecs i 21 músculs intrínsecs)^{1,2}, per la seva reduïda grandària (entre 1,3 i 1,5% del pes corporal)³ i perquè és la primera i única regió del nostre cos que en nombrosos patrons del desplaçament, com la marxa, la cursa o el salt, interactua amb el terra⁴.

Des d'una visió estàtica, diverses metodologies han estat proposades per al seu estudi i classificació: l'angle del retropeu^{5,6}, l'altura i angle de l'arc longitudinal del peu^{7,8}, l'índex de valg⁹, la relació entre l'alçada i la longitud del peu¹⁰ o l'anàlisi de l'empremta plantar^{7,11}.

Aquest tipus de valoracions solen ser, per la seva simplicitat, altament reproduïbles, fàcils d'administrar i de cost baix, per la qual cosa han estat utilitzades per estudiar la relació entre el tipus i la forma del peu i diverses patologies¹²⁻¹⁵. Malgrat això, no hi ha consens en la comunitat científica sobre quines són les millors tècniques per a l'estudi i classificació del peu des d'una visió clínica¹⁶.

D'altra banda, alguns autors han intentat relacionar diferents variables del peu valorades de forma estàtica, amb les forces que el peu exerceix en dinàmica: Cavanagh et al.¹⁷ relacionaren diverses variables antropomètriques, preses mitjançant tècniques radiològiques, amb les pressions plantars registrades en el primer dit i en el taló durant la marxa. De forma similar, McPoil et al.¹⁸ relacionaren múltiples variables estàtiques amb l'àrea de superfície plantar del retropeu, mediopeu i avantpeu, registrades de forma dinàmica en subjectes amb peus normals i pronats; Hillstrom et al.¹ crearen un model de regressió lineal múltiple que, a partir de diferents variables estructurals, permetia explicar una part de les modificacions funcionals sofertes en diferents variables cinemàtiques i cinètiques del peu, i Chuckpaiwong et al.¹⁹ observaren una elevada correlació entre el tipus de peu i els pics de força i de pressió plantar registrats durant la marxa i la cursa. Tot això fa pensar en l'existència d'una forta interrelació entre les variables estructurals i les funcionals del peu, cosa que, si es confirmés, permetria simplificar i reduir els enormes costos que habitualment suposa la valoració des d'una visió funcional i dinàmica.

Enfront de la gran diversitat de metodologies disponibles per a l'anàlisi del peu, Redmond et al.²⁰ van proposar l'índex de postura del peu (IPP) —*foot posture index*— com a eina de valoració alternativa. L'IPP és una metodologia destinada a valorar de forma estàtica la postura general del peu en càrrega en els 3 plans de l'espai, mitjançant l'observació i la palpació de 6 criteris clínics^{20,21}. L'IPP és un mètode de valoració científica àmpliament validat²⁰⁻²³, no invasiu, de baix cost i, tot i que és un sistema de mesurament del peu en estàtica, s'ha observat que correlaciona de forma important nombroses variables dinàmiques²⁴⁻²⁶. Té l'objectiu de ser un mètode de diagnòstic senzill que serveix per emmarcar les diferents característiques de la postura del peu en un únic resultat quantificable que permeti avaluar la posició global del peu sense necessitat d'utilitzar instruments de mesurament d'alt cost²⁰⁻²³.

D'altra banda, la cursa és una forma de locomoció bípeda utilitzada en les activitats físiques i esportives que requereixen un desplaçament ràpid del cos, en què s'alternen 2 fases principals: una fase de recolzament monopodal, que transcorre durant aproximadament el 35-50% del temps de durada de la gambada, i una fase de vol durant el 50-65% restant²⁷. La durada de cada una d'aquestes fases depèn de diversos factors, entre els quals destaca la velocitat de desplaçament, essent la durada del recolzament monopodal menor a mesura que el corredor augmenta la velocitat de desplaçament²⁷⁻²⁹. A més, l'estudi de les variables cinemàtiques relacionades amb el temps de contacte i de vol registrats durant els desplaçaments ha estat considerat com a punt de partida per a l'anàlisi de diversos aspectes biològics o mecànics de la cursa³⁰, s'ha relacionat amb el nivell de rigidesa muscular (*stiffness*)^{31,32}, el cost energètic de la cursa³³ o l'aparició de determinades patologies articulars^{34,35}.

L'objectiu d'aquest estudi fou analitzar la relació que hi ha entre l'índex de postura del peu i diverses variables cinemàtiques relacionades amb la cursa, l'índex de massa corporal (IMC) i el volum setmanal d'entrenament.

Material i mètodes

Subjectes

Estudi pilot en què la mostra d'estudi estava composta per 25 subjectes (15 homes i 10 dones) (edat $28 \pm 9,1$ anys; pes $67 \pm 13,3$ kg; alçada $1,69 \pm 0,08$ m; IMC $23,2 \pm 3,2$ kg/m²), que practicaven la cursa contínua com a activitat esportiva de manera més o menys habitual (volum mitjà setmanal d'entrenament: $11 \pm 10,8$ km/setmana). La mostra fou seleccionada entre els diferents estudiants universitaris de la Universitat de Manresa (Barcelona, Espanya). Els criteris d'exclusió foren no estar capacitats per córrer a la cinta durant 2 min a una velocitat de 2,43 m/s, presentar asimetria de l'IPP entre ambdós peus segons el criteri proposat per Rokkedal-Lausch et al.³⁶, tenir un peu màximament pronat o màximament supinat²⁰ i tenir algun tipus d'alteració morfofuncional a les extremitats inferiors, tant congènita com adquirida. No es va rebutjar cap candidat a participar en aquest estudi per algun dels criteris d'exclusió definits, ni va rebre cap recompensa econòmica o en espè-

cie per participar-hi. L'estudi experimental es realitzà a les instal·lacions de la Clínica Universitària de la Universitat de Manresa (Barcelona, Espanya). Aquest protocol fou aprovat pel Comitè d'ètica d'investigacions clíniques de l'Administració esportiva de la Generalitat de Catalunya.

Instrumental

Per valorar la talla i el pes s'utilitzà una bàscula PES PERSON model 111 (Badalona, Espanya) dotada de tallímetre, que prèviament a la realització de les valoracions fou calibrada d'acord amb les indicacions del fabricant. Les dades obtingudes serviren per calcular posteriorment l'IMC. Per capturar la cursa en vídeo s'utilitzà una cinta de córrer (BH model Argón 1,38 × 0,51 m) i una càmera d'alta velocitat CASIO EXILIM ZR10 situada lateralment i a una freqüència de 480 Hz. Totes les valoracions foren realitzades sense cap mena d'inclinació de la cinta i amb els subjectes descalços. Per tal de garantir la seguretat dels participants i aturar la cinta en cas de caiguda fortuïta, s'utilitzà una pinça de seguretat unida al sistema d'aturada d'urgència de l'equip i a la cintura del subjecte. Totes les gravacions foren posteriorment analitzades mitjançant l'aplicació de cronometratge del programa KINOVEA® (versió 0.8.15). Recentment, Balsalobre-Fernández et al.³⁷ han validat la utilització d'aquest sistema per calcular les variables cinemàtiques a partir de filmacions registrades a alta velocitat. A més, aquest programari ha estat utilitzat en diverses investigacions com a metodologia d'estudi de la cinemàtica del gest esportiu³⁸⁻⁴⁰. Totes les valoracions foren realitzades i analitzades pel mateix investigador i s'utilitzà un segon investigador per a les proves de fiabilitat.

La categorització de la postura del peu es realitzà mitjançant l'IPP²⁰. La versió utilitzada de l'IPP (FPI-6) consta de 6 punts (fig. 1). Cada un presenta valors que van del -2, que correspon a la postura de màxima supinació, al +2, que correspon al valor de màxima pronació. La puntuació final obtinguda en els 6 criteris de valoració es mostra en una taula resum. De la suma de tots els valors s'obté una puntuació final entre -12 i +12. A partir d'aquest valor es poden classificar els diferents tipus de peu: màximament supinat (-12 a -5), supinat (-4 a -1), normal (0 a +5), pronat (+6 a +9) i màximament pronat (+10 a +12)^{21,23}. Aquest estudi només valorà els 3 tipus centrals de peu (pronat, supinat i normal), en considerar que la velocitat de cursa en què es feien les valoracions, juntament amb el fet que aquestes valoracions es registraven amb els subjectes descalços, podria comportar un risc massa elevat de lesió en els tipus més extrems de peu (màximament pronat i màximament supinat).

Protocol

Prèviament a l'inici de l'estudi es registraren les característiques antropomètriques i les dades personals de cada subjecte. A continuació, cada participant signà un document de consentiment informat i emplenà un qüestionari en el qual deixava constància dels quilòmetres setmanals recorreguts. Seguidament, es valorà l'IPP i es classificaren els peus en cada una de les 3 categories. Posteriorment, es realitzaren les gravacions de cada subjecte, i es prengué

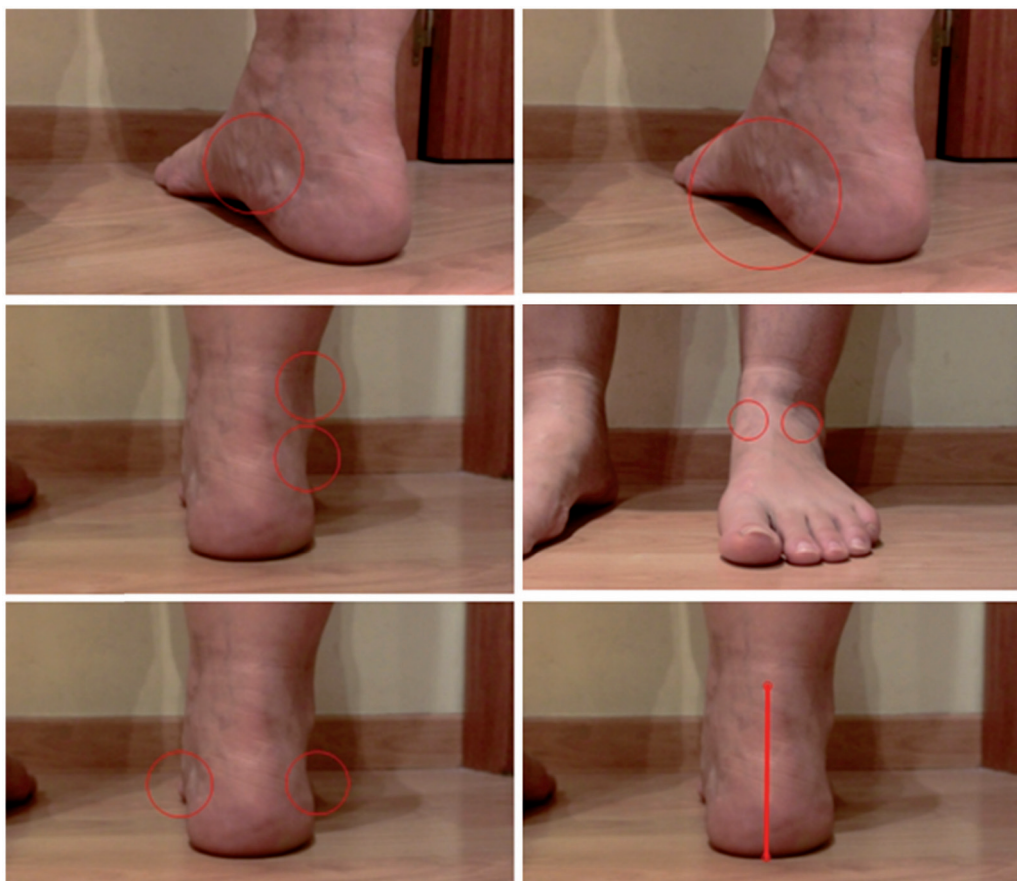


Figura 1. Descripció dels punts valorats de l'IPP (d'esquerra a dreta i de dalt a baix): prominència vora interna, arc lateral intern, curvatures inframal·leolar i supramal·leolar, palpació del cap de l'astràgal, signe de massa dits i vertical del taló. Font: Redmond et al.²⁰ i Abad et al.²¹

com a referència la metodologia d'Ogueta-Alday et al.⁴¹. Cada participant caminà descalç a una velocitat de 0,81 m/s durant un minut i sense haver realitzat cap mena d'exercici d'escalfament previ. A continuació, el subjecte va córrer descalç durant un minut sobre la cinta a una velocitat de 2,43 m/s. Les gravacions es realitzaren a partir dels 40 s de cursa, per tal de garantir l'adaptació de les variables cinemàtiques de cada subjecte a la velocitat de la cinta. En general, es considera que no hi ha diferències importants en la marxa i la cursa realitzada a la cinta de córrer i al terra⁴²⁻⁴⁴. A més, s'ha constatat que els valors cinemàtics que defineixen els temps de contacte peu-terra, obtinguts a partir de filmacions realitzades a subjectes que corrien a la cinta, no difereixen dels obtinguts en plataformes de forces quan el subjecte corre sobre el propi sòl⁴⁵.

Les variables cinemàtiques analitzades en aquest estudi foren el temps de recolzament del peu, el temps de vol, el nombre de gambades/min, el valor mitjà del temps de recolzament (TMR), el temps de vol (TMV), el temps de gambada (TMG) i la freqüència de gambada (FG).

Anàlisi de les dades

En primer lloc, es calculà l'estadística descriptiva de les diferents variables estudiades (mitjana i desviació estàndard). Seguidament, es calculà la fiabilitat intraobservador

i interobservador per valorar la postura del peu mitjançant el càlcul del coeficient de correlació intraclasse. Per això, un segon investigador realitzà una nova anàlisi de l'IPP en un 10% de la mostra, mentre que del total dels vídeos registrats, se n'analitzà novament un 20%. Per tal d'analitzar l'homogeneïtat de les variables estudiades s'aplicà el test de normalitat (Shapiro-Wilk). A més, en les variables que complien les proves de normalitat s'estudià l'homogeneïtat de les variàncies mitjançant la prova de Levene per a grups. El tractament de les dades es realitzà amb el programa Excel, versió 2010. El càlcul estadístic s'ha realitzat amb el paquet informàtic per al tractament estadístic de dades IBM SPSS, versió 21.

Resultats

De la mostra total estudiada ($n = 25$), el 60% dels subjectes analitzats ($n = 15$) resultà que tenia el peu normal, el 32% ($n = 8$) el peu pronat i el 8% ($n = 2$) el peu supinat. La fiabilitat intraobservador i interobservador de l'IPP fou del 100%, mentre que els índexs de correlació intraobservador i interobservador poden ser consultats a la taula 1.

Entre les variables estudiades, la variable TMG no mostrà una distribució estadísticament normal, mentre que sí que ho feren la resta de variables (TMR, TMV i FG) (taula 2).

Taula 1. Proves de fiabilitat en l'observació dels vídeos

	Intra	Inter
TMR	0,948	0,939
TMV	0,948	0,943
TMG	1,000	1,000
FG	1,000	1,000

Taula 2. Proves de normalitat (Shapiro-Wilk) de les variables estudiades

	S-W	p
TMR	0,980	0,882
TMV	0,976	0,806
TMG	0,906	0,024*
FG	0,949	0,241

* p < 0,05.

Taula 3. Proves d'igualtat en la variància (Levene) de les variables estudiades (p > 0,05)

	p (IPP)	p (km/setmana)	p (IMC)
TMR	0,226	0,382	0,605
TMV	0,072	0,813	0,269
FG	0,368	0,059	0,611

A més, s'estudià l'homogeneïtat de les variàncies d'aquestes variables segons els grups de categoria IPP, quilòmetres que corre a la setmana i l'IMC, resultant que les diferències no eren significatives; per tant, es considerà que els grups eren homogenis (taula 3).

Taula 4. Valors mitjans i desviació estàndard dels paràmetres cinemàtics del total de la mostra i dels diferents grups segons l'IPP

	(n = 25)	IPP supinat (n = 2)	IPP normal (n = 15)	IPP pronat (n = 8)
TMR (ms)	281,5 ± 17,6	260,5 ± 1,2	279,9 ± 16,5	290,0 ± 17,4
TMV (ms)	78,5 ± 18,8	85,5 ± 6,8	79,7 ± 14,2	74,7 ± 27,9
FG (gam/min)	167,4 ± 9,0	173,4 ± 2,8	167,1 ± 7,2	165,4 ± 12,5

Taula 5. Valors mitjans i desviació estàndard dels paràmetres cinemàtics del total de la mostra i dels diferents grups segons quilòmetres que corre a la setmana

	Total mostra (n = 25)	Mes de 10 km/setmana (n = 9)	Menys de 10 km/setmana (n = 16)
TMR (ms)	281,5 ± 17,6	281,3 ± 21,0	281,7 ± 16,9
TMV (ms)	78,5 ± 18,8	90,6 ± 16,4	71,8 ± 17,0
FG (gam/min)	167,4 ± 9,0	162,1 ± 11,9	169,9 ± 5,5

A la taula 4 es pot observar com el valor TMR (p = 0,085), TMV (p = 0,732) i FG (p = 0,553) varien en funció de la categoria IPP, tot i que aquestes diferències no resultaren estadísticament significatives (ANOVA univariant). Així com tampoc no foren significatives les diferències trobades a les diferents variables cinemàtiques estudiades, en comparar (T-test) les categories *peu pronat* i *peu supinat*: TMR (p = 0,052), TMV (p = 0,614) i FG (p = 0,418).

En relació a la variable *quilòmetres que corre a la setmana*, les diferències resultaren ser significatives en les variables TMV (t = 2,689; p = 0,013) i FG (t = -2,249; p = 0,034) (T-test), i no ho foren en TMR (p = 0,958) (taula 5).

Finalment, el valor d'IMC no presentà diferències significatives (ANOVA univariant) entre els diferents grups de les variables estudiades: TMR (p = 0,192), TMV (p = 0,762) i FG (p = 0,671) (taula 6).

Discussió

Les diferents variables cinemàtiques de la cursa relacionades amb la freqüència i l'amplitud de la gambada han estat a bastament estudiades, tant des del punt de vista del rendiment esportiu com de la patologia articular. Diversos autors han constatat que una reducció de l'amplitud de la gambada sembla que té un efecte positiu en el dolor femoropatel·lar⁴⁶⁻⁴⁸. Heiderscheit et al.⁴⁷ constataren que en reduir un 10% l'amplitud de la gambada durant la cursa disminuïa un 34% el treball negatiu de l'articulació femoropatel·lar, i Mercer et al.⁴⁸ observaren que en incrementar un 15% l'amplitud de la gambada s'incrementava un 12% la capacitat d'amortiment, mentre que en disminuir l'amplitud un 15%, la capacitat d'amortiment en disminuïa un 22%. A més, semblantment s'ha establert l'existència d'una relació directa entre la reducció de la longitud de la gambada durant la cursa i la reducció del risc de patir fractures d'estrès a nivell tibial⁴⁹.

Tot i que la relació entre freqüència i amplitud de la gambada pot veure's modificada per diversos factors com la

Taula 6. Valors mitjans i desviació estàndard dels paràmetres cinemàtics dels diferents grups segons l'IMC

	Magresa (n = 4)	Normal (n = 14)	Sobrepès (n = 7)
TMR (ms)	267,9 ± 18,4	286,0 ± 14,1	280,5 ± 21,5
TMV (ms)	85,2 ± 7,8	77,3 ± 21,8	77,2 ± 17,9
FG (gam/min)	170,1 ± 5,4	165,7 ± 10,1	168,1 ± 8,6

Magresa: < 18,5 kg/m²; normal: 18,5-24,99 kg/m²; sobrepès: > 25 kg/m².

velocitat de desplaçament, el calçat, les dimensions corporals, el pes afegit a l'extremitat, la superfície, l'antropometria del subjecte, el grau de preparació, la composició muscular, la fatiga i l'historial de lesions³⁰, sembla que cada individu adopta de forma inconscient una combinació òptima entre freqüència i longitud de gambada en cada velocitat de cursa que li permet optimitzar el consum màxim d'oxigen⁵⁰.

A més, tots aquests factors estan directament relacionats amb el nivell de fatiga de l'esportista. Diversos autors⁵¹⁻⁵³ confirmaren que en la cursa, a mesura que augmentava la fatiga, la freqüència de gambada augmentava mentre que en disminuïa l'amplitud, la qual cosa propiciava un augment del temps de contacte i una disminució del temps de vol. Per exemple, Saraslanidis et al.⁵⁴ observaren que en una cursa de 400 m hi havia diferències significatives en els temps de contacte i de vol entre els primers i els últims 200 m, i el temps de contacte era major a mesura que transcorria la prova. Tot això fa que es consideri habitualment que hi ha una relació inversament proporcional entre l'amplitud de la gambada i el temps de contacte del peu amb el sòl^{49,55}. A més, s'ha observat que la velocitat de desplaçament influeix en la freqüència de recolzament, i que alhora aquesta freqüència té una influència directa en la modificació de la rigidesa muscular (*stiffness*)^{56,57}.

Aquest estudi analitzà en primer lloc la possible influència del tipus de peu (pronat, normal o supinat) sobre diferents variables cinemàtiques de la cursa per tal de poder localitzar i definir més clarament les variables que afavoreixen el rendiment durant la cursa a peu i augmentar el coneixement dels factors de risc que poden facilitar l'aparició de lesions. Els resultats obtinguts suggereixen que el tipus de peu no és un factor a considerar a l'hora d'analitzar les diferents variables cinemàtiques estudiades. Tot i que Cornwall i McPoil⁵⁸ constataren l'existència d'una estreta relació entre postura i mobilitat del peu, i un decrement de la mobilitat del peu ha estat relacionat amb diversos canvis de la seva funcionalitat^{10,58}, els resultats d'aquest estudi sembla que indiquen tot el contrari. Una explicació possible d'aquests resultats podria ser el fet que en aquest estudi no es van analitzar els tipus de peu extrems (màximament pronat i màximament supinat). Malgrat que aquests són els tipus de peu en què s'han constatat majors diferències dels nivells de mobilitat^{22,58}, se'n descartà l'avaluació per tal de garantir la seguretat dels participants, ja que els subjectes corrien descalços en ser valorats. Aquest fet, unit a la dimensió de la mostra analitzada, podria ser la causa que ha comportat que les diferències trobades no siguin significatives estadísticament. Tanmateix, s'observaren diferències significatives en TMV i la FG en funció del volum

setmanal d'entrenament. Tot i que en aquest estudi no s'analitzaren els nivells de força que els esportistes eren capaços de generar durant la impulsio, fóra lògic pensar que els subjectes amb un volum major d'entrenament són capaços de generar majors nivells de força durant la fase d'impulsió de la cursa, fruit de les adaptacions generades per l'entrenament, especialment si considerem que la mostra estava conformada per esportistes de nivell recreatiu. Diversos autors han constatat l'existència de diferències en la cinemàtica de la cursa i en la capacitat d'amortir els impactes durant la fase de presa de contacte, en funció del nivell de força que el subjecte és capaç de generar^{10,59}, especialment gràcies a una millora del patró de reclutament muscular^{60,61}. A més, s'han observat increments en l'economia de la cursa, fruit de la millora de la rigidesa muscular (*stiffness*) com a resposta adaptativa a l'entrenament, cosa que podria justificar alguns dels canvis soferts en el patró de recolzament durant la cursa a peu^{62,63} i, a més, es constata que la modificació de la posició del centre de masses corporal, com a conseqüència de la modificació de la postura corporal adoptada en millorar el nivell tècnic, podria influir en determinades variables cinemàtiques, com la freqüència de recolzament⁶⁴.

En relació a la massa corporal, els resultats d'aquest estudi suggereixen que l'IMC no sembla que tingui influència en les diferents variables estudiades. Aquests resultats estan en la línia dels obtinguts per Taboga et al.⁶⁵, que constataren que la capacitat d'aprofitament de l'energia elàstica entre subjectes de diferent massa corporal era similar i que el treball extern generat i el cost energètic de la cursa no es veien influenciats per la massa corporal. Aquest fet també ha estat observat en ocells i mamífers i sembla que és una resposta adaptativa per a la supervivència a l'entorn⁶⁶. D'altra banda, la mostra utilitzada en aquest estudi pot ser considerada, des de l'estudi de la massa corporal, com una mostra homogènia, ja que les diferències intersubjectes resultaren molt menors a les registrades per altres autors^{66,67}, la qual cosa redueix considerablement la possibilitat de trobar diferències significatives i justifica els resultats contraris obtinguts per altres autors^{30,68}. Són necessaris estudis futurs que analitzin subjectes amb masses corporals molt diferents amb la intenció de poder analitzar en profunditat el veritable efecte d'aquesta variable en els paràmetres cinemàtics.

Finalment, cal esmentar que una de les limitacions d'aquest estudi fou el fet que només es valoraren les variables cinemàtiques relacionades amb el recolzament plantar, i no es van considerar les variacions angulars en els 3 components de l'espai de les diferents articulacions implicades en el moviment.

Conclusions

En la mostra estudiada no hi ha diferències significatives en els paràmetres cinemàtics estudiats en relació amb l'IPP.

Els resultats d'aquest estudi suggereixen que entre les diferents variables cinemàtiques analitzades durant la cursa només el temps mitjà de vol i la freqüència de la gamba sembla que estan influenciats de forma significativa pel volum setmanal d'entrenament.

Calen estudis futurs per analitzar la interacció existent entre altres variables estructurals i funcionals del peu i la seva postura en diferents grups de població.

Conflicte d'interessos

Els autors declaren que no tenen cap conflicte d'interessos.

Bibliografia

- Hillstrom HJ, Song J, Kraszewski AP, Hafer JF, Mootanah R, Dufour AB, et al. Foot type biomechanics (part 1): Structure and function of the asymptomatic foot. *Gait Posture*. 2013;37:445-51.
- Maslen BA, Ackland TR. Radiographic study of skin displacement errors in the foot and ankle during standing. *Clin Biomech*. 1994;9:291-6.
- Zatsiorsky VM, King DL. An algorithm for determining gravity line location from posturographic recordings. *J Biomech*. 1998;31:161-4.
- Corbi F. Análisis de las presiones plantares y su relación con la velocidad de la pelota durante el golpeo paralelo de derecha en tenis [tesi doctoral]. Universitat de Barcelona. 2008.
- Jonson SR, Gross MT. Intraexaminer reliability, interexaminer reliability, and mean values for nine extremity skeletal measures in healthy naval midshipmen. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1997;25:253-63.
- Tsai LC, Yu B, Mercer VS, Gross MT. Comparison of different structural foot types for measures of standing postural control. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2006;36:942-53.
- Hawes MR, Nachbauer W, Sovak D, Nigg BM. Footprint parameters as a measure of arch height. *Foot Ankle*. 1992;13:22-6.
- Norkin CC, Levangie PK. Joint structure and function. Philadelphia, PA: FA. Davis; 1983.
- Song J, Hillstrom HJ, Secord D, Levitt J. Foot type biomechanics. Comparison of planus and rectus foot types. *J Am Podiat Med Assoc*. 1996;86:16-23.
- Fukuchi R, Stefanyshyn DJ, Stirling L, Duarte M, Ferber R. Flexibility, muscle strength and running biomechanical adaptations in older runners. *Clin Biomech*. 2014;29:304-10.
- Irwin LW. A study of the tendency of school children to develop flat-footedness. *Res Quart*. 1937;8:46-53.
- Levy JC, Mizel MS, Wilson LS Jr, Fox W, McHale K, Taylor DC, et al. Incidence of foot and ankle injuries in West Point cadets with pes planus compared to the general cadet population. *Foot Ankle Int*. 2006;27:1060-4.
- Loudon JK, Jenkins W, Loudon KL. The relationship between static posture and ACL injury in female athletes. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1996;24:91-7.
- Hintermann B, Nigg BM. Pronation in runners, implication for injuries. *Sports Med*. 1998;26:169-76.
- Tomaro JE, Burdett RG, Chadran AM. Subtalar joint motion and the relationship to lower extremity overuse injuries. *J Am Podiat Med Assoc*. 1996;86:427-32.
- Razeghi M, Batt ME. Foot type classification: A critical review of current methods. *Gait Posture*. 2002;15:282-91.
- Cavanagh PR, Morag E, Boulton AJ, Young MJ, Deffner KT, Pammer SE. The relationship of static foot structure to dynamic foot function. *J Biomech*. 1997;30:243-50.
- McPoil TG, Haager M, Hilt J, Klapheke J, Martínez R, Van Steenwyk C, et al. Can static posture measurements predict regional plantar surface area? *The Foot*. 2014;24:161-8.
- Chuckpaiwong B, Nunley JA, Mall NA, Queen RM. The effect of foot type on in-shoe plantar pressure during walking and running. *Gait Posture*. 2008;28:405-11.
- Redmond AC, Crosbie J, Ouvrier RA. Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: The Foot Posture Index. *Clin Biomech*. 2006;21:89-98.
- Abad E, Térmens J, Espinosa C, Subirà R, Arnés A. The Foot Posture Index. Análisis y revisión. *El Peu*. 2011;31:190-7.
- Cornwall MW, McPoil TG, Lebec M, Vicenzino B, Wilson J. Reliability of the modified Foot Posture Index. *J Am Podiat Med Assoc*. 2008;98:7-13.
- Redmond AC, Crane YZ, Menz HB. Normative values for the Foot Posture Index. *J Foot Ankle Res*. 2008;1:6, <http://dx.doi.org/10.1186/1757-1146-1-6>
- Chuter V. Relationships between foot type and dynamic rear-foot frontal plane motion. *J Foot Ankle Res*. 2010;3:6, <http://dx.doi.org/10.1186/1757-1146-3-9>
- Nielsen RG, Rathleff MS, Moelgaard CM, Simonsen O, Kaalund S, Olesen CG, et al. Video based analysis of dynamic midfoot function and its relationship with Foot Posture Index scores. *Gait Posture*. 2010;31:126-30, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.09.012>
- Sanchez-Rodriguez R, Martinez-Nova A, Escamilla-Martinez E, Pedrera-Zamorano JD. Can the Foot Posture Index or their individual criteria predict dynamic plantar pressures? *Gait Posture*. 2012;36:591-5, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.05.024>
- Novacheck TF. The biomechanics of running. *Gait Posture*. 1998;7:77-95.
- Ferro A. La carrera de velocidad: metodología de análisis biomecánico. Madrid: Librerías Deportivas Esteban Sanz; 2001.
- Bergamini E. Biomechanics of sprint running: A methodological contribution [tesi doctoral] (Co-tutoring PhD program in Bioengineering), Università degli Studi di Bologna/Arts et Métiers Paris-Tech/Università degli Studi di Roma «Foro Italico», Bologna; 2011.
- Cavanagh PR, Kram R. Stride length in distance running: velocity, body dimensions and added mass effects. En: Cavanagh PR, editor. *Biomechanics of distance running*. Champaign: Human Kinetics Books; 1990. pp. 35-60.
- Morin JB, Samozino P, Zameziati K, Belli A. Effects of altered stride frequency and contact time on leg-spring behaviour in human running. *J Biomech*. 2007;40:3341-8, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2007.05.001>
- Morin JB, Dalleau G, Kyrolainen H, Jeannin T, Belli A. A simple method for measuring stiffness during running. *J Appl Biomech*. 2005;21:167-80.
- Weyand PG, Kelly M, Blackadar T, Darley JC, Oliver SR, Ohlenbusch NE, et al. Ambulatory estimates of maximal aerobic power from foot-ground contact times and heart rates in running humans. *J Appl Phys*. 2001;91:452-8.
- Duffey MJ, Martin DF, Cannon DW, Craven T, Messier SP. Etiologic factors associated with anterior knee pain in distance runners. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32:1825-32.
- Barton CJ, Levinger P, Menz H, Webster KE. Kinematic gait characteristics associated with patellofemoral pain syndrome: A systematic review. *Gait Posture*. 2009;30:405-16.
- Rokkedal-Lausch T, Lykke M, Hansen MS, Nielsen RO. Normative values for the foot posture index between right and left foot:

- A descriptive study. *Gait Posture*. 2013;38:843-6, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.04.006>
37. Balsalobre-Fernández C, Tejero CM, del Campo-Vecino J, Bavaresco N. The concurrent validity and reliability of a low-cost, high-speed camera based method for measuring the flight time of vertical jumps. *J Strength Cond Res*. 2014;28:528-33, <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e318299a52e>
 38. López del Amo JL, García A, Cordente CA, Montoya A, González P. Análisis de la elección de la pierna de ataque predominante en la prueba de 400 m vallas de los XIII Campeonatos del Mundo de Atletismo de Daegu 2011. *Apunts. Educación Física y Deportes*. 2012;110:70-7, [http://dx.doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2012/4\).110.08](http://dx.doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2012/4).110.08)
 39. Botton F, Hautier C, Eclache JP. Energy expenditure Turing tennis play: A preliminary video analysis and metabolic model approach. *J Strength Cond Res*. 2011;25:3022-8, <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e318234e613>
 40. Andújar JJ, López del Amo JL, Marina M. Caracterització del temps de vol en relació amb variables biomecàniques de l'estirada en l'arrencada d'halterofília. *Apunts. Educación Física y Deportes*. 2014;118:68-78, <http://dx.doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.cat.%282014/4%29.118.07>
 41. Ogueta-Alday A, Morante JC, Rodríguez-Maroyo JA, García-López J. Validation of a new method to measure contact and flight times during treadmill running. *J Strength Cond Res*. 2013;27:1455-62.
 42. Fellin RE, Manal K, Davis IS. Comparison of lower extremity kinematic curves during overground and treadmill running. *J Appl Biomech*. 2010;26:407-14.
 43. Nigg BM, de Boer RW, Fisher V. A kinematic comparison of overground and treadmill running. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27:98-105.
 44. Chiu SL, Chang CC, Chou LS. Inter-joint of overground versus treadmill walking in young adults. *Gait Posture*. 2015;41:316-8, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.09.015>
 45. Fellin RE, Rose W, Royer TD, Davis IS. Comparison of methods for kinematics identification of footstrike and toe-off during overground and treadmill running. *J Sci Med Sport*. 2010;13:646-50.
 46. Lenhart RL, Thelen DG, Wille CM, Chumanov ES, Heiderscheit BC. Increasing running step rate reduces patellofemoral joint forces. *Med Sci Sports Exerc*. 2014;46:557-64, <http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182a78c3a>
 47. Heiderscheit BC, Chumanov ES, Michalski MP, Wille CM, Ryan MB. Effects of step rate manipulation on joint mechanics during running. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43:296-302, <http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181e3bedf4>
 48. Mercer JA, Devita P, Derrick TR, Bates BT. Individual effects of stride length and frequency on shock attenuation during running. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35:307-13.
 49. Derrick TR, Hamill J, Caldwell GE. Energy absorption of impacts during running at various stride lengths. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30:128-35.
 50. Cavanagh PR, Williams KR. The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. *Med Sci Sports Exerc*. 1982;14:30-5.
 51. Kyrolainen H, Pullinen T, Candau R, Avela J, Huttunen P, Komi PV. Effects of marathon running on running economy and kinematics. *Eur J Appl Physiol*. 2000;82:297-304.
 52. Nicol C, Komi PV, Manconnet P. Fatigue effects of marathon running on neuromuscular performance (I). Changes in muscle force and stiffness characteristics. *Scand J Med Sci Sports*. 1991;1:10-7.
 53. Pinninger GJ, Steele JR, Groeller H. Does fatigue induced by repeated dynamic efforts affect hamstring muscle function? *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32:647-53.
 54. Sarasilanidis PJ, Pnoutsakopoulos V, Kyprianou GA. The effect of different first 200-m pacing strategies on blood lactate and biomechanical parameters of the 400-sprint. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111:1579-90, <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-010-1772-4>
 55. Willson JD, Sharpee R, Meardon SA, Kernozek TW. Effects of step length on patellofemoral joint stress in female runners with and without patellofemoral pain. *Clin Biomech*. 2014;29:243-7, <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2013.12.016>
 56. Mero A, Komi PV. Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *Eur J Appl Physiol*. 1986;55:553-61.
 57. Farley CT, González O. Leg stiffness and stride frequency in human running. *J Biomech*. 1996;29:181-6.
 58. Cornwall MW, McPoil TG. Relationship between static foot posture and foot mobility. *J Foot Ankle Res*. 2011;4:9, <http://dx.doi.org/10.1186/1757-1146-4-4>
 59. Karamanidis K, Arampatzis A. Mechanical and morphological properties of different muscle-tendon units in the lower extremity and running mechanics: Effect of aging and physical activity. *J Exp Biol*. 2005;208:3907-23.
 60. Staron RS, Leonardi MJ, Karapondo DL, Malicky ES, Falkel JE, Hagerman FC, et al. Strength and skeletal muscle adaptations in heavy resistance-trained woman alter detraining and retraining. *J Appl Physiol*. 1991;70:631-40.
 61. Foster C, Lucia A. Running economy: The forgotten factor of elite performance. *Sports Med*. 2007;37:316-9.
 62. Albracht K, Arampatzis A. Exercise-induced changes in triceps surae tendon stiffness and muscle strength affect running economy in humans. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113:1605-15, <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-012-2585-4>
 63. Fletcher JR, Esau SP, MacIntosh BR. Changes in tendon stiffness and running economy in highly trained distance runners. *Eur J Appl Physiol*. 2010;110:1037-46, <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-010-1582-8>
 64. Halvorsen K, Eriksson M, Gullstrand L. Acute effects of reducing vertical displacement and step frequency on running economy. *J Strength Cond Res*. 2012;26:2065-70, <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e318239f87f>
 65. Taboga P, Lazzer S, Fessehatsion R, Agosti F, Sartorio A, di Prampero PE. Energetics and mechanics of running men: The influence of body mass. *Eur J Appl Physiol*. 2012;112:4027-33, <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-012-2389-6>
 66. Heglund NC, Cavagna GA, Taylor CR. Energetics and mechanics of terrestrial locomotion. III. Energy changes of the centre of mass as a function of speed and body size in birds and mammals. *J Exp Biol*. 1982;97:41-56.
 67. Sjödin B, Svedenhag J. Oxygen uptake during running as related to body mass in circumpubertal boys: A longitudinal study. *Eur J Appl Physiol*. 1992;65:150-7.
 68. Bourdin M, Pastene J, Germain M, Lacour JR. Influence of training, sex age and body mass on the energy cost of running. *Eur J Appl Physiol*. 1993;66:439-44.