



**apunts**

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



## TREBALL ORIGINAL

# Comparació de l'activitat muscular de determinats músculs del tronc i de les extremitats inferiors en la marxa de dones joves amb peus en supinació, pronació i neutre

Hamideh Khodaveisi<sup>a,\*</sup>, Haydar Sadeghi<sup>a</sup>, Raghad Memar<sup>a</sup>, Mehrdad Anbarian<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Sport Biomechanics, School of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

<sup>b</sup> Department of Sport Biomechanics, School of Physical Education and Sport Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

Rebut el 26 de maig de 2015; acceptat el 27 d'octubre de 2015

### PARAULES CLAU

Músculs de les extremitats inferiors;  
Marxa;  
Peu neutre;  
Peu pronador;  
Peu supinador

**Resum** Els canvis de l'estructura anatòmica del peu en redueixen la capacitat de funcionament normal. Aquest estudi tingué l'objectiu de comparar determinats músculs del tronc i les extremitats inferiors durant la marxa de persones amb diferents tipus de peu. Es classificaren 45 estudiants dones en 3 grups, segons l'estructura del peu, és a dir, en pronació, en supinació i neutre. Un metge especialista definí els tipus de peu mitjançant l'índex postural i raigs X. Es registraren les activitats electromiogràfiques dels músculs tibial anterior, peroneal llarg, gastrocnemi medial, bíceps femoral, gluti mitjà, oblic extern i erector de la columna, en els 3 grups, en realitzar un recorregut determinat a una velocitat de marxa autoseleccionada. Es gravà amb una càmera cada esforç simultàniament amb registre electromiogràfic. S'utilitzà el test ANOVA d'un factor per comparar els grups, amb un nivell de significació de 0,05. L'activitat dels músculs tibial anterior i gastrocnemi medial fou major en el grup de peu pronador que en els grups de peu supinador i neutre, durant la fase de contacte del taló de la marxa ( $p = 0,001$ ). El grup de peu supinador reflectí una activació major del múscul peroneal llarg que la resta dels grups ( $p = 0,001$ ). No s'observaren diferències significatives en els 4 músculs restants ( $p > 0,05$ ). Durant la fase de recolzament mitjà, el grup de peu supinador reflectí una major activitat del peroneal llarg en comparació al de la resta de grups, mentre que el grup de peu pronador reflectí major activitat muscular del gluti mitjà que en els altres grups ( $p = 0,001$ ). Es produí una diferència significativa entre els grups de peu pronador i de peu neutre en l'oblic extern ( $p = 0,001$ ). Segons els resultats d'aquest estudi, els canvis del rendiment muscular en els grups de peu pronador i supinador són més notoris que en el grup de peu neutre.

© 2015 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicat per Elsevier Espanya, S.L.U. Tots els drets reservats.

\* Autor per a correspondència.

Correu electrònic: khodaveisi.hamideh@yahoo.com (H. Khodaveisi).

**KEYWORDS**

Lower limb muscles;  
Gait;  
Normal foot;  
Pronated foot;  
Supinated foot

## Comparison of selected muscular activity of trunk and lower extremities in young women's walking on supinated, pronated and normal foot

**Abstract** Changes in anatomical structure of the foot reduce the foot ability for normal performance. This study aimed to compare selected muscles of trunk and lower extremities during walking in individuals with different foot types. Forty-five female students were categorized into three groups depending on their foot structures namely, pronated, supinated and normal feet. Foot types defined by foot posture index and X-ray under the specialist physician. Electromyography activities were recorded from muscles of tibialis anterior, peroneus longus, medial gastrocnemius, biceps femoris, gluteus medius, external oblique and erector spinae in three groups while walking in determined path with self-selected gait speed. Each effort simultaneous with electromyography registration was recorded with camera. One-way ANOVA test was used to compare the groups at significance level of 0.05. The activity of muscle of tibialis anterior and medial gastrocnemius was greater in pronated foot group than that in supinated and normal groups during heel contact phase of gait ( $P = .001$ ). Supinated foot group exhibited a greater peroneus longus activation than the other groups ( $P = .001$ ). No significant differences were observed for remaining four muscles ( $P > .05$ ). During midstance phase, peroneus longus, supinated foot group exhibited a greater activity compared to other groups while pronated foot group exhibited a greater muscle activity for gluteus medius than others ( $P = .001$ ). There was a significant difference between normal and pronated foot groups for external oblique ( $P = .001$ ). Regarding the findings of this study, the muscular performance changes in pronated and supinated foot groups are more noticeable than that in normal foot type.

© 2015 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

## Introducció

En la marxa el peu suporta l'amortiment de l'impacte de la força del contacte amb el terreny, l'equilibri, i l'adaptació a la superfície del sòl i transmissió de la pressió de manera eficient, que s'obté a través de les activitats recíproques de les articulacions del peu<sup>1</sup>.

Durant la marxa els moviments importants es produeixen a les articulacions talocrural, subastragalina, astragaloescaploidea, calcaneocuboidea i escapocuboidea<sup>2</sup>. Estudis recents assenyalen diferències peculiars i gran complexitat en els moviments del tars que es poden resumir en els moviments de pronació i supinació. La pronació es produeix a la fase de recolzament mitjà que ajuda a augmentar el moviment disponible de l'avantpeu, absorbeix l'impacte i s'adapta al terreny. Cap al final de la fase de recolzament, la supinació del peu augmenta i es produeix una disminució del moviment disponible de l'avantpeu, i la part davantera esdevé inestable<sup>1</sup>.

La biomecànica antinatural del peu redueix la capacitat de fer un exercici normal<sup>3</sup>. El peu en pronació és una de les consultes més freqüents que els pacients refereixen als traumatòlegs i metges de l'esport, com s'ha vist, entre una àmplia gamma de deformitats com la reducció de l'alçada de l'arc longitudinal medial, la rotació externa del taló i l'abducció de l'avantpeu<sup>4</sup>. Generalment es considera que el peu en pronació actua com a facilitador provocant danys de sobreentrenament i afeccions patològiques com la fascitis plantar, l'escurçament del tendó d'Aquilles, fractura per estrès, rampes a la cama i dolor al taló, genoll i esquena<sup>5</sup>.

La rotació interna del taló concomitant amb l'arc longitudinal medial del peu s'anomena peu en supinació i afecta a persones amb aquesta deformitat estructural i contribueix a una gamma àmplia de deformitats de les extremitats inferiors, com l'adducció de l'avantpeu, dits com una forca, genoll var i altres símptomes<sup>6</sup>. Durant la marxa, el temps i l'àrea de contacte amb el sòl és cada vegada menor i s'absorbeixen poc els impactes a causa del bloqueig de l'articulació mediotarsiana<sup>7</sup>. Els peus en pronació i supinació són malformacions quan contribueixen a deficiències estructurals i deficiències de comportament en estar dempeus i caminar amb canvis a les extremitats inferiors, la zona lumbar pelviana i els músculs de les extremitats inferiors<sup>8</sup>. En contrast amb les alteracions del rendiment muscular proximal, és efectiva en el rendiment muscular distal<sup>9</sup>. Una pronació i supinació de l'articulació subastragalina excessives poden canviar la posició del maluc, la pelvis, el tronc i les extremitats superiors<sup>8</sup>. La pronació excessiva és concomitant amb la rotació de la tibia interna, el fèmur<sup>10</sup>, el genoll valg<sup>11,12</sup> i la inclinació anterior de la pelvis<sup>13,14</sup>. Conseqüentment, la supinació del peu s'acompanya de la rotació externa de la tibia<sup>15</sup>, el fèmur gira en la mateixa direcció que la tibia, i l'angle del coll femoral influeix l'angle i la posició del genoll. Per tant, el peu en supinació pot contribuir a una disfunció de les extremitats inferiors. És lògic suposar que l'activitat de la cadena propera a les extremitats inferiors pot alterar l'alineació mecànica i la funció dinàmica de l'articulació proximal. Hansen et al.<sup>15</sup> indicaren que un múscul tibial posterior sobrecarregat és una característica evident dels subjectes amb el peu en supina-

ció. Aquest múscul inverteix i gira internament el peu en relació a la cama, i aquestes accions es veuen facilitades per la feblesa o paràlisi completa del peroneal lateral curt. Quan succeeix això, el tibial posterior esdevé un rotatori extern de la tibia en relació amb el peu.

Una revisió d'estudis cinemàtics que compara la realització del moviment en la marxa d'individus amb peu neutre i en pronació, mostra que en els individus amb el peu en pronació, a causa de la situació de la rotació externa del taló i el col·lapse de l'arc longitudinal intern, l'articulació subastragalina resta en posició de pronació al final de la fase de recolzament, per tant, es redueix l'estabilitat del peu i s'enfronta a la falta de força per avançar cap a la fase d'enlairament<sup>16,17</sup>. D'altra banda, l'elongació de l'eversió del taló<sup>16,17</sup> i l'augment de la rotació interna de la tibia en resposta a la càrrega<sup>18</sup> pot pertorbar el funcionament principal de l'estructura musculoesquelètica del peu com a força absorbent.

Les malformacions del peu produeixen determinats canvis en el moviment de les extremitats inferiors i en alguns casos augmenta el risc de lesió. La relació entre malformacions del peu i augment del risc de lesió de les extremitats inferiors pot originar-se a partir de l'activitat irregular dels músculs. Per exemple, s'ha reportat que els individus amb peu pla mostraren un augment o disminució de l'activitat dels membres inferiors com a compensació d'un reflex neuromuscular per reduir la sobrecàrrega resultant de la malformació del peu durant la marxa<sup>4,17</sup>.

Mitjançant electromiografia, Murley et al.<sup>4</sup> mostraren que el grup en pronació exerceix un percentatge EMG d'amplitud màxima superior en el tibial anterior en contacte amb el sòl i en el tibial posterior en el recolzament mitjà que en el grup neutre. A més, s'ha descrit que el grup del peroneal llarg té menor activitat EMG en la fase de recolzament<sup>4</sup>. Tot i que en alguns estudis no hi ha cap referència a aquesta diferència<sup>19</sup>. S'ha vist que durant la marxa els músculs del tronc juguen diversos papers relacionats amb el control del moviment entre el tronc i la pelvis<sup>20</sup>, que tenen gran importància en la disminució del moviment vertical del cos i absorció d'impactes en la marxa<sup>21</sup>. Alguns músculs superficials com l'erector de la columna estan relacionats amb els músculs que actuen sobre el peu i el maluc<sup>22,23</sup>, i podrien estar influïts per canvis de tensió miofascial<sup>24</sup>; es podria esperar com a resultat del desequilibri que la deformitat en el seu patró d'activació afectés els músculs de les extremitats superiors<sup>25</sup>.

Per tant, cal investigar sobre la resposta fisiològica i determinada activitat muscular del tronc i de les extremitats inferiors en diferents posicions del peu en la marxa, que donen lloc a elucidar el mecanisme d'incidència i prevenció de lesions.

Pel que fa a l'estructura anatòmica del peu, la posició i la disminució del funcionament del peu degut a estructures anormals i a limitacions de recerques anteriors sobre músculs, és molt important comprendre l'activitat muscular durant la marxa del peu en supinació i pronació, en comparació amb el peu neutre. Per tant, aquest estudi té com a objectiu comparar l'activitat de determinats músculs del tronc i extremitats inferiors en la marxa de dones joves amb peu en supinació, pronació, i neutre.

## Material i mètode

### Participants

Aquesta és una investigació semiexperimental inclosa en la recerca comparativa. Quaranta-cinc estudiants dones de 18 a 25 anys van ser classificades en 3 grups de 15 membres, amb peu neutre, pronació i supinació. Les persones amb símptomes traumatològics, lesions musculoesquelètiques, dolor articular crònic o amb algun tipus de patologia neurovascular o cardíaca van ser excloses de la investigació. Els subjectes no tenien cap experiència en l'ús de calçat ortopèdic, i no usaven ajudes per caminar. Abans de la prova, tots els subjectes firmaren el formulari de consentiment per participar a l'estudi. Aquesta recerca va ser proposada al Comitè d'Ètica de la Hamadan Medical Science University i els formularis de consentiment van ser aprovats pel comitè.

### Mesurament del peu

Per determinar l'estructura exacta del peu, s'utilitzaren raigs X de perfil complet i semiperfil del peu amb càrrega sota el genoll. Un metge ortopedista féu la confirmació final de l'estructura del peu, mitjançant raigs X i l'índex postural del peu (IPP). En el procediment per determinar l'estructura del peu i la severitat de la anormalitat de l'IPP, els subjectes estaven dempeus, amb els peus paral·lels oberts a l'amplada de les espatlles. Es demanà als subjectes que repartissin el pes entre els 2 peus, per igual. Aleshores, l'investigador observà sis índexs des de la part posterior, de la manera següent: palpació del cap de l'astràgal, curvatura supra i infra mal·leolar, calcani posició calcània planofrontal, prominència de la regió de l'articulació astragaloescaploidea, congruència de l'arc longitudinal medial, i abducció/adducció de l'avantpeu i retropeu. Després de finalitzar la valoració i classificació dels 6 índexs, se sumaren les puntuacions. La puntuació sumada per l'avaluador se situa en -12 (sobre supinació) i 12 (sobre pronació). Els que tenen un IPP d'1 a 7 se situen en el grup de peu neutre, els de puntuació de +8 a +10 al grup de peu en pronació i els d'una puntuació entre +11 i +12 són el grup de pronació excessiva. Si l'índex és de 0 a -3, o -4 a -12, el subjecte pertany al grup de peu en supinació o sobresupinació, respectivament<sup>26</sup>. Els mesuraments IPP han mostrat bona validesa<sup>27</sup>.

### Instrument

Es realitzà electromiografia superficial dels músculs amb un dispositiu de 16 canals. S'analitzà un peu de cada subjecte. Els senyals EMG s'obtingueren del tibial anterior, del peroneal lateral llarg, bessó intern, bíceps femoral, gluti mitjà, oblic extern, erector de la columna, utilitzant un sistema de 16 canals de Myon (model: Myon M320) a una freqüència de mostreig de 1.200 Hz. S'utilitzaren elèctrodes bipolars del tipus H124SG-Covidien impregnats amb gel gelatinós. Els elèctrodes tenien unes dimensions de 24 mm, i la distància interna entre elèctrodes era de 20 mm. Es preparà la pell (afaitat del pèl, retirada del pèl amb un cotó impregnat d'alcohol) d'acord amb el protocol SENIAM<sup>28</sup>. Per determinar el temps de contacte del taló i suport mitjà s'utilitzaren

sis càmeres Vicon T40-S a 120 Hz. Els marcadors es col·locaren als següents punts: primer cap del metatarsià (esquerra, dreta), cap del metatarsià cinquè (esquerra, dreta), el taló (esquerra, dreta) i cap del dit gros del peu (esquerra, dreta).

Per analitzar les dades electromiogràfiques durant la marxa, calgué determinar el temps de contacte del taló amb el sòl i el recolzament mitjà amb la càmera en posició vertical. La quantitat menor de dades de la càmera en el taló del peu dret durant la marxa es considerà que era el temps de contacte del taló amb el sòl i el recolzament simple quan la marca dels dits del peu esquerre s'enlairaven i el subjecte es mantenia dempeus sobre el peu dret.

Es demanà als subjectes que fessin un recorregut de 10 m durant 2 min a la velocitat seleccionada abans de la prova. Per evitar els efectes de la velocitat sobre els paràmetres de l'EMG, es controlà la velocitat amb un cronòmetre. A cada recorregut, les dades van ser recollides durant 10 s. Per reduir al mínim el percentatge d'error, les dades en brut es passaren per un filtre passabanda (10-450 Hz)<sup>29</sup>. En el processament de senyals electromiogràfics, per proporcionar la comparació entre els diferents músculs i els diferents subjectes, es dué a terme una contracció isomètrica màxima voluntària (CIMV) segons el protocol de Perotto. Per a la normalització, els senyals de l'electromiografia màxima de superfície foren avaluats durant cada maniobra CIMV i s'estimaren 5 s per a cada múscul<sup>30</sup>. La mitjana quadràtica (RMS) durant la marxa es normalitzà com un percentatge de la CIMV (% CIMV).

### Mètode estadístic

Per a l'anàlisi de les dades s'utilitzà l'estadística descriptiva i les dades s'expressaren com a mitjana i desviació estàndard. Per determinar la normalitat de la distribució de les variables s'emprà la prova de Kolmogorov-Smirnov, per l'anàlisi de les variables independents s'usà ANOVA d'una via, i s'utilitzà el nivell de significació 0,05. Per definir les diferències significatives entre músculs s'utilitzà la prova *post hoc* de Tukey.

**Taula 1** Característiques dels subjectes (mitjana  $\pm$  desviació estàndard)

| Variable    | Grups           |                 |                 |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|             | Normal          | Pronació        | Supinació       |
| Edat (anys) | 22,1 $\pm$ 1,9  | 23,2 $\pm$ 3,7  | 22,2 $\pm$ 2,8  |
| Alçada (cm) | 169,3 $\pm$ 6,2 | 165,6 $\pm$ 5,2 | 167,6 $\pm$ 4,1 |
| Pes (kg)    | 67,4 $\pm$ 5,1  | 68,4 $\pm$ 4,9  | 65,4 $\pm$ 5,2  |
| IMC         | 20,2 $\pm$ 1,5  | 21,8 $\pm$ 1,9  | 20,5 $\pm$ 1,6  |
| IPP*        | +4,1 $\pm$ 1,7  | +9,6 $\pm$ 1,1  | -2,3 $\pm$ 1,4  |

IMC: índex de massa corporal; IPP: índex postural del peu. El signe (\*) mostra la diferència entre grups de peu en pronació supinació i normal.

### Resultats

Les característiques dels subjectes es mostren a la taula 1. Els subjectes de tots els grups eren similars en edat, índex de massa corporal, alçada i pes, no presentaren diferències significatives en cap d'aquestes característiques llevat de la mesura i posició de l'índex del peu.

Les comparacions de l'activitat dels músculs seleccionats entre els grups normal, en supinació i pronació del peu durant la fase de contacte del taló en la marxa es presenten a la taula 2. En el tibial anterior, el grup de peu en pronació mostrà una activitat muscular més gran que la dels grups de peu neutre i en supinació ( $p = 0,001$ ). Hi hagué una conducció muscular similar en l'activació del gastrocnemi medial i el tibial anterior ( $p = 0,001$ ). Hi hagué una activitat significativament major del peroneal lateral llarg, en el grup muscular del peu en supinació que en els grups neutre i en pronació ( $p = 0,001$ ). No s'observaren diferències significatives en els restants 4 músculs ( $p > 0,05$ ).

La taula 3 mostra les mitjanes i desviacions estàndard (DE) de l'activació dels músculs seleccionats durant la fase de suport mitjà en la marxa entre els 3 grups de l'estudi. Un

**Taula 2** Mitjana  $\pm$  desviació estàndard de l'activitat muscular implicada en les diferents posicions del peu en la fase de contacte del taló en caminar (%EMG<sub>MVIC</sub>)

| Músculs               | Grups             |                    |                   | p     | F     |
|-----------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------|-------|
|                       | Normal            | Pronació           | Supinació         |       |       |
| Tibial anterior       | 3,35 $\pm$ 10,89* | 6,94 $\pm$ 18,65†* | 6,29 $\pm$ 10,62† | 0,001 | 8,77  |
| Peroneal llarg        | 1,49 $\pm$ 5,20   | 1,75 $\pm$ 3,82†   | 4,78 $\pm$ 13,00† | 0,001 | 39,04 |
| Gastrocnemi medial    | 0,79 $\pm$ 3,99*  | 1,75 $\pm$ 6,51†*  | 1,73 $\pm$ 4,71†  | 0,001 | 11,31 |
| Bíceps femoral        | 1,80 $\pm$ 7,84   | 3,53 $\pm$ 9,24    | 2,20 $\pm$ 7,44   | 0,155 | 1,95  |
| Gluti mitjà           | 1,89 $\pm$ 6,28   | 3,58 $\pm$ 7,70    | 2,37 $\pm$ 8,48   | 0,091 | 2,54  |
| Oblic extern          | 2,92 $\pm$ 6,41   | 3,66 $\pm$ 7,52    | 4,48 $\pm$ 8,36   | 0,666 | 1,02  |
| Erector de la columna | 2,21 $\pm$ 8,83   | 3,87 $\pm$ 7,29    | 3,98 $\pm$ 9,62   | 0,183 | 1,76  |

p representa el valor de probabilitat; F representa l'estadístic F.

\* Nivell de significació del grup de peu neutre i en pronació, nivell de significació del grup de peu neutre i en supinació.

† Nivell de significació del grup de pronació i supinació ( $p < 0,05$ ).

**Taula 3** Mitjana  $\pm$  desviació estàndard de l'activitat muscular implicada en les diferents posicions del peu en la fase de recolzament mitjà durant la marxa (%EMG<sub>MVIC</sub>)

| Músculs               | Grups            |                                |                               | p     | F      |
|-----------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------|--------|
|                       | Normal           | Pronació                       | Supinació                     |       |        |
| Tibial anterior       | 1,13 $\pm$ 4,12  | 3,81 $\pm$ 6,34                | 3,18 $\pm$ 6,05               | 0,114 | 2,288  |
| Peroneal llarg        | 1,37 $\pm$ 5,12  | 1,43 $\pm$ 3,24 <sup>†</sup>   | 2,43 $\pm$ 15,54 <sup>†</sup> | 0,001 | 187,98 |
| Gastrocnemi medial    | 2,72 $\pm$ 8,34* | 3,61 $\pm$ 11,93 <sup>††</sup> | 1,61 $\pm$ 7,33 <sup>†</sup>  | 0,001 | 11,355 |
| Bíceps femoral        | 2,30 $\pm$ 5,64  | 1,45 $\pm$ 6,55                | 0,96 $\pm$ 5,82               | 0,297 | 1,249  |
| Gluti mitjà           | 1,51 $\pm$ 7,43  | 1,34 $\pm$ 7,96                | 1,47 $\pm$ 8,71               | 0,061 | 2,993  |
| Oblic extern          | 6,25 $\pm$ 9,82* | 2,18 $\pm$ 14,54*              | 5,20 $\pm$ 10,43              | 0,022 | 4,162  |
| Erector de la columna | 2,21 $\pm$ 5,75  | 2,51 $\pm$ 6,78                | 2,26 $\pm$ 4,74               | 0,068 | 2,86   |

p significa valor de probabilitat; F significa l'estadístic F.

\* Nivell de significació normal en el grup de peu neutre i en pronació, nivell de significació en el grup de peu neutre i en supinació.

<sup>†</sup> Nivell de significació en el grup en pronació i en supinació (p < 0,05).

ANOVA d'una direcció seguit de la prova de Tukey indicà que no hi havia diferències significatives entre tots els grups d'estudi en l'activació del tibial anterior, bíceps femoral, gluti mitjà i erector de la columna durant la fase de recolzament simple (p > 0,05). El grup de peu en supinació mostrà una major activitat electromiogràfica en el peroneal lateral llarg, en comparació amb els grups de peu neutre i en pronació (p = 0,001). S'observà una diferència significativa entre els grups de peu neutre i en pronació per a l'oblic extern (p = 0,001). El grup de peu en pronació mostrà una activitat muscular major en el gluti mitjà que la dels grups de peu neutre i en supinació (p = 0,001).

## Discussió

Aquest estudi tingué com a objectiu estudiar l'efecte de l'activitat electromiogràfica de determinats músculs de les extremitats inferiors en la marxa de dones joves amb diferents tipus de peu. Els resultats mostraren que l'activitat muscular del tibial anterior en la fase de contacte del taló en el grup de peu en pronació fou significativament major que en el grup neutre, però no s'observà cap diferència significativa en la fase de recolzament mitjà entre els 3 grups. Aquestes troballes es corresponen amb les observacions de Murley et al.<sup>4</sup>, en què la major activació del múscul tibial anterior en el grup de peu en pronació es produeix durant aquesta mateixa fase de la marxa. Ells van atribuir aquesta troballa del peu en pronació a la possibilitat que el tibial anterior en la fase de contacte del taló té una major activitat per controlar la flexió plantar i desaccelerar la flexió plantar de l'articulació del turmell i resistir la pronació del peu. En altres paraules, el tibial anterior augmenta la seva activitat i segueix l'acció per tal de mantenir la inversió del retropeu per distribuir el pes a l'extrem lateral del peu en lloc de la part medial. D'altra banda, s'ha informat que el peu en supinació s'associa amb un peroneal lateral curt i un tendó del tibial anterior feble i un tendó del tibial posterior sobrecarregat<sup>15</sup>, i per tant poden conduir a un mecanisme compensatori i a canvis en el nivell d'activitat del tibial anterior.

Els resultats d'aquesta recerca sobre l'activitat muscular del peroneal llarg durant la marxa mostraren que en el grup de peu en pronació fou significativament menor que en el grup neutre i en el peu en supinació en la fase de contacte del taló amb el terra i de suport mitjà. Aquests resultats mostren que el múscul peroneal lateral llarg en el grup de peu en pronació tingué menys activitat en el contacte del taló i el suport mitjà que el grup neutre i el del peu en supinació. Aquestes diferències de rendiment entre els peus mostren probablement una activitat menor del múscul peroneal llarg del peu en pronació per fer un mecanisme compensatori que eviti una major pressió sobre l'arc intern<sup>4</sup>. A més, la major activitat del múscul peroneal llarg en el grup de peu en supinació que en el grup de peu en pronació es produeix com a reacció a la supinació en l'articulació subastragalina en aquest grup.

No hi hagué diferències significatives entre els 3 grups de músculs, bíceps femoral, gluti mitjà i erector de la columna. Això posa de manifest que l'activitat muscular del bíceps femoral, oblic extern i erector de la columna no estan influenciats per l'estructura del peu en la fase de contacte del taló amb el terra i de suport mitjà de la marxa. Com que el canvi en l'estructura del retropeu no causa cap canvi en l'activitat d'aquest múscul, no sembla probable que aquests músculs siguin importants en inversió o eversió del peu en els grups de peus en pronació i supinació, en comparació amb el grup de peu neutre. Pel que sembla, no hi ha cap estudi que hagi avaluat directament els efectes del tipus de peu sobre els músculs abans esmentats. Tanmateix, alguns estudis mostren que la feblesa del gluti mitjà com a abductor del maluc pot ser la causa de certes lesions que s'atribueixen a l'excessiva pronació subastragalina. Durant l'impacte del taló en córrer o en la marxa, el gluti mitjà ha de contraure's per mantenir una bona posició del maluc, del fèmur, del genoll, de la tibia i del peu. Si els músculs del gluti són dèbils, el maluc efectua un moviment d'adducció, i causa un gir cap a l'interior del fèmur, el genoll i la tibia. Aquesta rotació excessiva de la cama cap a l'interior provoca un augment en la pronació del peu. Els músculs del peu que controlen la pronació no són prou forts per contrarestar



aquestes forces del maluc i la part inferior de la cama. El resultat és una pronació excessiva i possibles lesions. Està demostrat que les dones tenen una major adducció del maluc durant les maniobres esportives, cosa que produeix una adducció major de genoll i una major càrrega del LEA. Per exemple, un estudi previ realitzat per Hart et al.<sup>31</sup> mostrà diferències entre sexes en l'activitat del gluti mitjà. Examinen 8 esportistes homes i 8 dones de primera divisió de futbol que van realitzar un salt monopodal cap endavant. Es registrà electromiograma de superfície del gluti mitjà, juntament amb la dels músculs isquiotibials, quàdriceps i gastrocnemi. Els resultats mostraren que la mitjana de l'activitat del gluti mitjà fou significativament major en els homes en comparació amb les dones. No hi hagué diferències significatives entre els sexes en cap dels altres músculs examinats. Possiblement, aquesta diferència de gènere predominant no mostrà una activació significativa del gluti mitjà en la marxa entre els grups amb diferents tipus de peu del nostre estudi.

L'augment de l'activitat muscular del gastrocnemi medial durant la marxa ha estat reportat com un mecanisme de compensació relacionat amb molèsties mecàniques de l'articulació<sup>32</sup>. El gastrocnemi medial condueix a una flexió plantar i impuls inversor del turmell, i impedeix la pronació excessiva del turmell com a fixador dinàmic<sup>33</sup>. Quan l'articulació subastragalina té més eversió, augmenta el rendiment del gastrocnemi medial<sup>34</sup>.

L'activitat electromiogràfica del múscul oblic extern del peu en pronació en suport mitjà fou més gran que la del grup de peu neutre. Degut a la manca d'estudis que comparin el múscul oblic extern en individus amb diferents estructures de peu, no vàrem poder obtenir una comparació. Com que un peu en pronació és una combinació d'un retropeu valc i un avantpeu valc, la pronació de l'articulació subastragalina justifica la inclinació anterior de la pelvis produint més pressió i estrès, i una alteració de la capacitat dels músculs responsables de l'estabilitat de la pelvis i l'augment de les pressions patològiques en els teixits de suport de l'articulació sacroilíaca. Com que el múscul oblic extern és el major múscul de l'abdomen que controla la rotació de la pelvis cap endavant, en cas d'estabilitat a la columna vertebral, l'activitat externa del múscul augmenta; per tant, per compensar aquesta deficiència, aquest múscul postural es veu obligat a tenir més activitat per compensar el desequilibri<sup>35</sup>. A més, el punt fort d'aquest estudi fou considerar el possible paper dels músculs del tronc, així com el dels músculs de les extremitats inferiors en dones amb peu neutre, en pronació i supinació durant la marxa. Com s'ha mostrat en evidències anteriors, les dones tenen major adducció del maluc durant les maniobres esportives, fet que causa lesions de genoll. A més, està documentat que les deformitats del peu poden alterar l'alineació mecànica i la funció dinàmica de l'articulació proximal, i en conseqüència, afectar el patró de la marxa. Per tant, calgué avaluar l'efecte dels músculs del gluti i del tronc durant la marxa. Les nostres troballes van revelar que els músculs del gluti i del tronc de les dones amb diferents tipus de peu que participaren al nostre estudi no canviaren significativament durant les fases de recolzament i contacte del taló en la marxa. D'acord amb aquests resultats, la funció muscular del membre inferior es veu afectada pel tipus de peu; per

tant, suggerim programes d'exercicis de rehabilitació per millorar la força muscular dels membres inferiors relacionats amb les deformitats del peu. La limitació d'aquest estudi fou que l'activitat de l'inversor del tibial posterior no va ser determinada pel registre d'electromiografia d'agulla. Els resultats d'aquesta recerca poden ajudar els experts en rehabilitació a dissenyar programes d'exercicis per a persones que tenen una estructura anòmala.

## Conclusió

Com que la pronació i la supinació provoquen canvis en les extremitats inferiors i en la zona posterior de la pelvis, efectuen un canvi de rendiment en determinats músculs en el grup de peu en pronació i supinació, en comparació amb el grup de peu normal. El rendiment dels músculs depèn de l'estructura del peu. Aquesta diferència de l'activitat muscular pot actuar com a mecanisme de compensació neuromuscular per reduir el sobrepès de l'arc longitudinal intern del peu en individus de peu en pronació.

## Conflicte d'interessos

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

## Bibliografia

1. Barwick A, Smith J, Chuter V. The relationship between foot motion and lumbopelvic-hip function: A review of the literature. *Foot*. 2012;22:224-31.
2. Lundgren P, Nester C, Liu A, Arndt A, Jones R, Stacoff A, et al. Invasive in vivo measurement of rear-, mid- and forefoot motion during walking. *Gait Posture*. 2008;28:93-100.
3. Massie D, Haddox A. Influence of lower extremity biomechanics and muscle imbalances on the lumbar spine. *Athl Ther Today*. 1999;3:46-51.
4. Murley GS, Menz HB, Landorf KB. Foot posture influences the electromyographic activity of selected lower limb muscles during gait. *J Foot Ankle Res*. 2009;2:35.
5. Burns J, Keenan AM, Redmond A. Foot type and overuse injury in triathletes. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2005;95:235-41.
6. Manoli A, Graham B. The subtle cavus foot: the under pronator — a review. *Foot Ankle Int*. 2005;26:256-63.
7. Williams DS, Davis IM, Scholz JP, Hamill J, Buchanan TS. High-arched runner's exhibit increased leg stiffness compared to low-arched runners. *Gait Posture*. 2004;19:263-9.
8. Pinto RZ, Souza TR, Trede RG, Kirkwood RN, Figueiredo EM, Fonseca ST. Bilateral and unilateral increases in calcaneal eversion affect pelvic alignment in standing position. *Man Ther*. 2008;13:513-9.
9. Willson JD, Dougherty CP, Ireland ML, McClay D. Core stability and its relationship to lower extremity function. *J Am Acad Orthop Surg*. 2005;13:316-25.
10. Tiberio D. Effect of excessive subtalar joint pronation on patellofemoral mechanics: A theoretical model. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1987;9:160-5.
11. Tiberio D. Pathomechanics of structural foot deformities. *J Phys Ther*. 1988;68:1840-9.
12. Dierks TA, Manal KT, Hamill J, Davis IS. Proximal and distal influences on hip and knee kinematics in runners with patellofe-

- moral pain during a prolonged run. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2008;38:448-56.
13. Bird AR, Payne CB. Foot function and low back pain. *Foot.* 1999;9:175-80.
  14. Theodoros N, Dimitris M, Efstathios C, Spyros A. EMG activation of trunk and upper limb muscles following experimentally-induced overpronation and oversupination of the feet in quiet standing. *Gait Posture.* 2013:190-4.
  15. Hansen ST. The cavovarus/supinated foot deformity and external tibia torsion: The role of the posterior tibia tendon. *Foot Ankle Clin.* 2008;13:325-8.
  16. Hunt AE, Smith RM. Mechanics and control of the flat versus normal foot during the stance phase of walking. *Clin Biomech.* 2004;19:391-7.
  17. Razeghi M, Batt ME. Foot type classification: A critical review of current methods. *Gait Posture.* 2004;15:282-91.
  18. Dorsey S, Williams IS, McClay JH, Thomas S. Buchanan lower extremity kinematic and kinetic differences in runners with high arches. *J Appl Biomech.* 2001;17:153-63.
  19. Keenan MA, Peabody TD, Gronley JK, Perry J. Valgus deformities of the feet and characteristics of gait in patients who have rheumatoid arthritis. *J Bone Joint Surg Am.* 1991;73:237-47.
  20. Perry J. *Gait analysis: normal and pathological function.* New Jersey: Thorofare, SLACK Inc.; 1992. p. 136-7.
  21. Smeathers J. Shocking news about discs. *Curr Orthop.* 1994;8:45-8.
  22. Vleeming A, Pool-Goudzwaard AL, Stoeckart R, van Wingerden JP, Snijders CJ. The posterior layer of the thoracolumbar fascia. Its function in load transfer from spine to legs. *Spine.* 1995;1:753-8.
  23. Stecco A, Macchi V, Masiero S, Porzionato A, Tiengo C, Stecco C. Pectoral and femoral fasciae: Common aspects and regional specializations. *Surg Radiol Anat.* 2009;31:35-42.
  24. Myers TW. *Anatomy trains. Myofascial meridians for manual and movement therapists.* London: Churchill Livingstone; 2001.
  25. Janda V. *Muscle function testing.* London: Butterworths; 1983.
  26. Redmond AC, Crosbie J, Ouvrier AR. Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: the foot posture index. *Clin Biomech.* 2006;21:89-98.
  27. Evans Angela M, Rome K, Peet L. The foot posture index, ankle lunge test, Beighton scale and the lower limb assessment score in healthy children: A reliability study. *J Foot Ankle Res.* 2012;5:1.
  28. Hermens DH, Feriks B. *Surface electromyography for the non-invasive assessment of muscle (SENIAM);* 2005.
  29. De Luca CJ, Donald Gilmore L, Mikhail K, Serge HR. Filtering the surface EMG signal: Movement artifact and baseline noise contamination. *J Biomech.* 2010;43:1573-9.
  30. Perotto AO, Delagi EF, Lazzetti J, Morrison D. *Anatomical Guide for the Electromyographer: The Limbs and Trunks.* 3rd ed. Springfield, IL: Charles C. Thomas; 1994.
  31. Hart JM, Garrison JC, Kerrigan DC, Palmieri-Smith R, Ingersoll CD. Gender differences in gluteus medius muscle activity exist in soccer players performing a forward jump. *Res Sports Med.* 2007;15:147-55.
  32. Ringleb SI, Kavros SJ, Kotajarvi BR, Hansen DK, Kitaoka HB, Kaufman KR. Changes in gait associated with acute stage II posterior tibial tendon dysfunction. *Gait Posture.* 2007;25:555-64.
  33. Simon SR, Mann RA, Hagy JL, Larsen LJ. Role of the posterior calf muscles in normal gait. *J Bone Joint Surg Am.* 1978;60:465-72.
  34. Wang R, Gutierrez-Farewik EM. The effect of subtalar inversion/eversion on the dynamic function of the tibialis anterior, soleus, and gastrocnemius during the stance phase of gait. *Gait Posture.* 2011;34:29-35.
  35. Dinsdale N. How abnormal foot motion can be a major contributor to lower back and pelvic problems. *SportEX Dyn.* 2009;19:11-4.