



This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/authorsrights>

# La mesure de l'angle calcanéop-jambier constitue-t-elle un outil de mesure non invasive de la fatigue musculaire au cours de la course ?<sup>☆</sup>

Bruno VIE<sup>a,\*</sup>  
Podologue, PhD, enseignant  
à l'École de podologie de  
Marseille

Yves JAMMES<sup>b</sup>  
PU-PH de physiologie  
Faculté de médecine  
Université Aix-Marseille,  
directeur de recherche  
équipe « Suractivité –  
Fatigue » UMR MD2,  
président du CPP Sud-  
Méditerranée 1

Jean-Paul WEBER<sup>a</sup>  
Directeur, fondateur de  
l'Institut de podologie de  
Marseille

<sup>a</sup>École de podologie de  
Marseille,  
206, bd de Plombières,  
13014 Marseille, France

<sup>b</sup>UMR MD2, Faculté de  
médecine, Université  
Aix-Marseille,  
27, bd Jean-Moulin,  
13385 Marseille Cedex 05,  
France

**L'étude de la variation de l'angle calcanéop-jambier durant la marche et la course non fatigante chez des sujets jeunes porte sur l'observation de la variation de l'angle calcanéop-jambier durant la marche à 4 km/h et la course à 6 et 8 km/h. La variation moyenne observée est de 1,64° au minimum et de 1,86° au maximum. Cette étude est préliminaire à une étude sur des sujets soumis à un test d'effort inframaximal.**

© 2014 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

**Mots clés** - angle calcanéop-jambier ; course ; effort inframaximal ; fatigue musculaire

**Is the measurement of the calcaneus-leg angle a tool for the non-invasive measurement of muscle fatigue during running?** The study of the variation of the calcaneus-leg angle during walking and gentle running in young subjects is based on the observation of the variation of the calcaneus-leg angle during walking at 4 km/h and running at 6 to 8 km/h. The average variation observed is 1.64° minimum and 1.86° maximum. This is a preliminary study to a study on subjects undergoing an inframaximum effort test.

© 2014 Elsevier Masson SAS. All rights reserved

**Keywords** - calcaneus-leg angle; inframaximum effort; muscle fatigue; running

L'objectif de l'étude sur la mesure de l'angle calcanéop-jambier était de montrer que celui-ci varie durant la course, lors de l'apparition de la fatigue, au cours d'un exercice maximal sur tapis roulant. En parallèle de la mesure des variations de cet angle, l'étude a porté sur l'analyse des pressions plantaires avant et après l'effort.

## Méthode

Les sujets ont été recrutés au sein de l'école de podologie de Marseille : sept femmes et six hommes âgés de 19 à 27 ans (moyenne = 21.4 ± 2,2 SD ans). Leur poids allait de 50 à 85 kg (moyenne = 64.0 ± 10,5 SD kg). Tous les sujets étaient capables d'effectuer une course sur tapis roulant et avaient une activité physique régulière. Les critères d'exclusion étaient : absence de traumatismes et d'interventions chirurgicales antérieures au niveau des membres inférieurs.

## Mesures

Au préalable, la mesure de référence de l'angle calcanéop-jambier en position statique debout a été effectuée chez chaque sujet sur un podoscope.

L'angle calcanéop-jambier était formalisé par des marqueurs de 2 cm de diamètre situés comme suit :

- marqueur proximal placé à l'insertion distale du tendon calcanéen ;

- marqueur distal au milieu des tubérosités postérieures du calcanéum ;
- marqueur jambier distal à 8 cm au-dessus du marqueur proximal calcanéen ;
- marqueur jambier proximal à 8 cm au-dessus du précédent.

Les mesures de l'angle calcanéop-jambier ont été effectuées sur trois appuis unipodaux successifs lors de chaque séquence et pour chaque pied. Les sujets ont été examinés sur un tapis de marche à l'aide d'un système d'analyse vidéo (Dartfish Prosuite 4.09<sup>®</sup>) permettant de mesurer l'angle calcanéop-jambier au cours de la course sur tapis roulant. La caméra était placée dans l'axe du tapis de marche pour effectuer une vue de dos du sujet. Elle était placée à 47 cm en arrière du tapis, à 45 cm de hauteur et avec un angle d'inclinaison de 10°. L'angle calcanéop-jambier était matérialisé par deux droites, à l'aide des marqueurs, puis tracé avec le logiciel Dartfish. Le goniomètre était placé de la façon suivante : son centre se situait au milieu de la malléole tibiale et fibulaire dans le plan frontal. Sa partie fixe était placée sur l'axe postérieur du calcanéum et sa partie mobile sur l'axe postérieur du tibia (figure 1).

En parallèle, des mesures de pressions plantaires ont été enregistrées avant et après le test d'effort à l'aide d'un baropodomètre Winpod<sup>®</sup> (Médicapteur) (figure 2).

## Note

<sup>☆</sup>Cet article a été présenté lors du congrès P2T, Parc Chanot, Marseille, en 2011.

\*Auteur correspondant.  
Adresse e-mail :  
bruno.vie@sfr.fr (B. Vie).

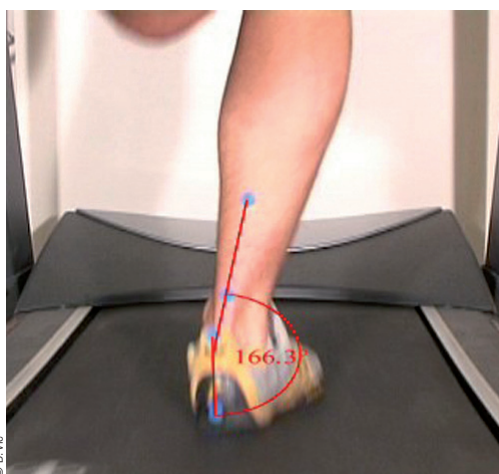


Figure 1. Mesure de l'angle calcanéo-jambier.

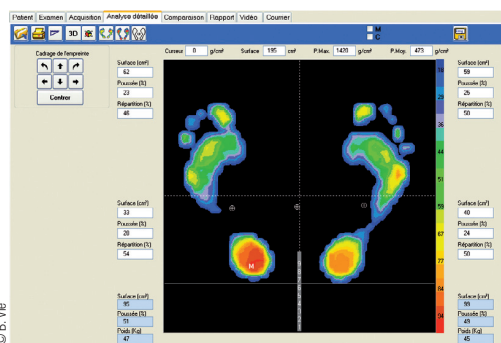


Figure 2. Mesure baropodométrique statique.

Le protocole d'effort était le suivant :

- premier palier : 4 km/h ;
- second palier : 7 km/h ;
- puis augmentation de 1 km/h jusqu'à l'atteinte de fréquence cardiaque maximale (vitesse maximale atteinte : 10 à 12 km/h).

Des séquences de 15 secondes ont été enregistrées à la fin de chaque palier du test. La fréquence cardiaque était mesurée à chaque étape du protocole (repos, fin de chaque palier, toutes les minutes pendant les 20 premières minutes de récupération).

L'analyse statistique a utilisé une analyse de variance pour mesures répétées permettant d'évaluer chez chaque sujet une variation significative de l'angle calcanéo-jambier entre les valeurs mesurées à la vitesse initiale de 4 km/h, à chaque palier successif, et en fin de test, à la vitesse de course maximale.

## Résultats et commentaires

À la vitesse initiale de 4 km/h, selon les individus, la variation moyenne de l'angle était de 1,64° au minimum et de 1,86° au maximum.

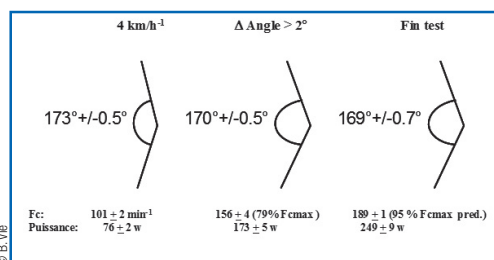


Figure 3. Évolution de l'angle calcanéo-jambier au cours de l'exercice.

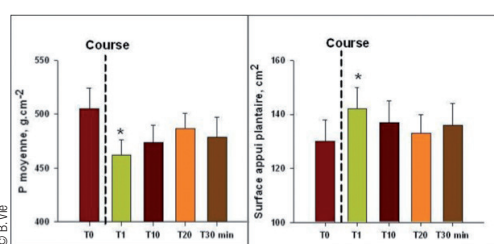


Figure 4. Évolution des mesures baropodométriques après l'exercice.

Pendant l'effort, nous avons mesuré une première réduction significative de l'angle calcanéo-jambier (173°-169°) correspondant à un mouvement d'éversion du pied, à une puissance d'exercice équivalente à 79 % de la fréquence cardiaque maximale mesurée à 69 % de la puissance maximale atteinte (figure 3). Ce niveau d'exercice correspondait approximativement à la détermination du seuil ventilatoire, marquant la transition entre exercice en endurance et en résistance.

Après l'exercice, l'éversion du pied s'accompagne d'une modification significative de l'appui plantaire mesurée par baropodométrie (figure 4). À la première minute de récupération, nous avons mesuré une réduction significative de la pression moyenne et une augmentation de la surface d'appui plantaire. La fatigue du muscle tibial postérieur ou/et du tibial antérieur, muscles maintenant l'inversion du pied, a été évoquée. L'action du muscle long fibulaire, éverseur du pied, serait alors prédominante. Cette étude préliminaire suggère l'utilisation de la mesure de l'angle calcanéo-jambier comme outil de mesure non invasive de la fatigue musculaire au cours d'épreuves de course. Elle nécessite d'être complétée par des enregistrements électromyographiques des différents muscles impliqués dans cette activité. L'analyse spectrale des signaux électromyographiques devrait permettre d'approcher leurs capacités respectives à retarder l'apparition de leur défaillance mécanique. Cette approche des mécanismes retardant l'apparition de la fatigue a déjà été validée. ▶

## Pour en savoir plus

- Enoka RM, Stuart D. Neurobiology of muscle fatigue. *J Appl Physiol* 1992;72:1631-48.
- Hug F, Faucher M, Kipson N, Jammes Y. EMG signs of neuromuscular fatigue related to the ventilatory threshold during cycling exercise. *Clin Physiol Funct Imaging* 2003;23:208-14.
- Jammes Y, Zattara-Hartmann MC, Caquelard F, Arnaud S, Tomei C. Electromyographic changes in vastus lateralis during dynamic exercise. *Muscle & Nerve* 1997;20:247-49.
- Johanson MA, Donatelli R, Wooden MJ. Effects of three different posting methods on controlling abnormal subtalar pronation. *Phys Ther* 1994;74:149-61.
- Rodgers MM. Dynamic biomechanics of the normal foot and ankle during walking and running. *Phys Ther* 1988 dec;68(12):1822-30.

Déclaration d'intérêts  
Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.