



# Empreintes de pieds dynamiques ou statiques : calculs comparés de l'angle et de l'appui de la marche

## Dynamic and static footprints: comparative calculations for angle and base of gait

S.-A. Curran <sup>a,\*</sup>, D. Upton <sup>b</sup>, I.-D. Learmonth <sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Wales centre for podiatric studies, school of health and social sciences, university of Wales institute, Western Avenue, Cardiff, Wales CF52YB, UK*

<sup>b</sup> *School of health and social sciences, university of Wales institute, Western Avenue, Cardiff, Wales CF52YB, UK*

<sup>c</sup> *Department of orthopaedic surgery, university of Bristol, Room 105, level 5, Bristol Royal Infirmary, Bristol BS109NB, UK*

### MOTS CLÉS

Angle ;  
Appui ;  
Marche ;  
Dynamique ;  
Empreinte de pied ;  
Statique

**Résumé** L'information tirée de données obtenues à partir des empreintes de pieds est une composante utile, fiable et objective de l'évaluation des patients présentant une pathologie musculosquelettique. Les paramètres spatiaux habituels extrapolés à partir de telles données incluent l'angle (angulation) et l'appui de la marche. Une recherche antérieure a décrit une méthode fiable d'analyse des données obtenues à partir des empreintes de pieds dynamiques. Bien que ces dernières demeurent fondamentales, peu ou pas d'études ont documenté la comparaison des empreintes de pieds dynamiques et des empreintes de pieds statiques. L'objet de cette étude était d'établir les différences entre l'angle et l'appui de la marche tirées de données obtenues à partir d'empreintes de pieds dynamiques ou statiques. Vingt-cinq sujets ont fourni trois empreintes de pieds dynamiques (analyse de la demi-marche) et trois empreintes de pieds statiques. La fiabilité intrinsèque de la technique de mesure de l'angle et de l'appui de la marche s'est avérée excellente ( $p > 0,001$ ) pour les deux états (dynamique et statique). Les comparaisons entre l'état dynamique et l'état statique ont révélé qu'il n'y avait pas de différences significatives ( $p < 0,0001$ ) en ce qui concernait l'angle de marche alors que l'on pouvait remarquer des différences significatives entre l'état statique et l'état dynamique en ce qui concernait l'appui de la marche. Une analyse plus poussée utilisant une régression linéaire a montré que l'angle de la marche pour le pied gauche et pour le pied droit prédisait une situation dynamique à 67 et 60 % ; une prédiction légèrement plus faible de 54 % a été remarquée pour l'appui de la marche. Ces résultats suggèrent que les empreintes de pieds statiques montrent une certaine prédiction de la fonction dynamique lorsque l'on évalue l'angle et l'appui de la marche chez les sujets normaux.

© 2005 Elsevier SAS. Tous droits réservés.

\* Auteur correspondant.

**KEYWORDS**

Angle;  
Base;  
Gait;  
Dynamic;  
Footprint;  
Static

**Abstract** Information derived from footprint data serves as a useful, reliable and objective component to the assessment of patients with musculoskeletal pathology. Common spatial parameters extrapolated from such data include the angle and base of gait. Previous research has described a reliable method for analysing dynamic footprint data. While this data remains fundamental, few studies, if any have documented the comparisons of dynamic and static footprints. The purpose of this study was to ascertain the differences between the angle and base of gait from dynamic and static footprint data. Twenty-five subjects provided three dynamic (mid-gait analysis) and three static footprints. Intra-rater reliability of the measurement technique for both the angle and base of gait was found to be excellent ( $P > 0.001$ ) for each of the two conditions (dynamic and static). Comparisons between the dynamic and static condition revealed no significant differences ( $P < 0.0001$ ) for the angle of gait, whilst significant differences were noted between the static and dynamic condition for the base of gait. Further analysis using linear regression identified that the angle of gait for the left and right foot predicted a 67 and 60% of that of a dynamic situation; a slightly lower prediction of 54% was noted for base of gait. These results suggest that static footprints do demonstrate some prediction of dynamic function when assessing the angle and base of gait in normal subjects.

© 2005 Elsevier SAS. Tous droits réservés.

## Introduction

La compréhension des *patterns* (profils) de marche typiques présentés lors de la station debout ou lors de la marche chez les bipèdes est un préalable essentiel à l'évaluation des patients présentant une pathologie musculosquelettique. Bien que l'analyse de la marche assistée par ordinateur apporte un vaste ensemble de données, son utilisation en clinique et en recherche est souvent limitée en raison de contraintes de temps et de coût. En réponse à de telles limitations, les données obtenues à partir d'empreintes de pieds représentent l'une des formes les moins onéreuses et les plus simples d'analyse quantitative de la marche chez les bipèdes. Les paramètres extrapolés de ces données sont essentiellement des paramètres spatiaux tels que la longueur du pas, la largeur du pas et l'angle et l'appui de la marche. Au cours des années, tout un ensemble de techniques a été utilisé pour obtenir des données sur les empreintes de pas ; parmi ces techniques figurent celles qui utilisent la boue, le sable et la neige,<sup>1</sup> le plâtre de Paris,<sup>2</sup> les peintures,<sup>3</sup> le talc,<sup>4</sup> l'encre,<sup>5,6</sup> le papier absorbant<sup>7,8</sup> et le papier carbone.<sup>9,10</sup> Une série d'empreintes de pas enregistrées peut être traitée géométriquement pour déterminer de nombreux paramètres spatiaux, comme il a été mentionné antérieurement ; ces derniers ont été développés en partant du principe qu'ils reflètent la position et la distance des pieds au cours de la marche.

Les paramètres tels que l'angle (angulation) de la marche et l'appui de la marche sont appropriés pour cette étude ; le premier a été décrit par Sgarlato<sup>11</sup> comme la déviation du plan sagittal du pied par rapport à la ligne de progression des deux pieds<sup>12</sup> et le second a été défini comme la distance

entre les deux pieds.<sup>11</sup> L'angle de la marche est aussi appelé « angle de placement du pied »,<sup>13</sup> avec des valeurs moyennes allant de 7,5° à 10° d'abduction pour chaque pied.<sup>14-16</sup> L'appui de la marche, connu aussi sous le nom de « largeur du pas » ou de « largeur de la foulée » a été considéré comme un important paramètre dans l'évaluation d'un vaste ensemble d'individus présentant une pathologie telle qu'une maladie de Parkinson<sup>17</sup> tout autant que pour l'identification des changements de la marche et de la posture associés au vieillissement normal.<sup>18-20</sup> Un tel sentiment a été conforté par Patla et al.<sup>21</sup> qui ont interrogé une cohorte de kinésithérapeutes qualifiés ; ces derniers ont collectivement identifié l'appui de la marche comme le composant le plus approprié pour l'analyse de la marche. De plus, il est bien établi que la stabilité de l'équilibre diminue avec l'âge, ce qui se traduit par un appui de la marche augmenté.<sup>18-20,22</sup> L'adoption d'une telle attitude au cours de la marche apporte un périmètre de sécurité (polygone de sustentation) plus grand pour le déplacement pas à pas du centre de la marche, rendant ainsi optimale la sûreté de l'individu, bien qu'au risque d'un coût métabolique accru.<sup>23</sup>

Bien que la discussion se soit focalisée sur le concept d'un appui de la marche plus large adopté dans certains types de pathologie, une recherche récente a tenté de corréliser l'angle de la marche au type d'arche (voûte) plantaire. Au cours de leur étude concernant 20 femmes athlètes d'élite, Williams et al.<sup>24</sup> ont identifié une corrélation entre l'angle de la marche et la « pronation du pied ». Ils ont conclu que l'angle de la marche pouvait influencer la pronation présentée par chaque individu. De telles observations sont semblables à celles rapportées par Lapidus<sup>25</sup> et plus récemment par

Kernozek et Ricard<sup>13</sup> qui ont établi que des individus avec un angle de la marche plus grand avait tendance à augmenter la pronation.

Traditionnellement, les investigations antérieures ont examiné les divers paramètres spatiaux caractéristiques des empreintes de pieds associées au moyen d'une analyse dynamique.<sup>2-4,6,7,9,10,13-15,17-19</sup> Cependant, aucune n'a tenté de calculer l'angle et l'appui de la marche dans un état statique.<sup>26</sup> Étant donné que le pied est la plate-forme ou la fondation sur laquelle repose la superstructure au cours de la marche ou de la position statique, il est raisonnable de supposer qu'un dysfonctionnement du pied aura un profond effet sur l'ensemble du système musculo-squelettique, tant à l'état statique qu'à l'état dynamique.<sup>11,22,27,28</sup> McPoil et Cornwall<sup>29</sup> ont soutenu que « *la raison pour laquelle on prend des mesures cliniques statiques du membre inférieur ou du pied est de déterminer les anomalies qui pourraient affecter le mouvement du pied au cours de la marche. La logique de cette raison est l'hypothèse selon laquelle la structure dicte la fonction.* ». De telles conceptions ont été reprises par Perry<sup>30</sup> qui a suggéré que la posture du membre inférieur au cours de la station debout en l'absence de mouvement est semblable à celle utilisée dans la position « milieu ». Wilkinson et al.<sup>31</sup> ont soulevé le problème de la précision et de la fiabilité concernant certaines techniques d'évaluation utilisées antérieurement par des chercheurs<sup>9,32</sup> et fait des observations spécifiques sur les lignes arbitraires de progression comme source d'erreurs potentielles. Dans le but d'apporter une méthode cohérente d'analyse des données obtenues à partir d'empreintes de pieds dynamiques, Wilkinson et al.<sup>31</sup> ont détaillé une nouvelle méthode d'évaluation s'appuyant sur des marqueurs de référence spécifiques utilisés dans le calcul de tout un ensemble de paramètres spatiaux. La fiabilité de cette technique a été établie précédemment.<sup>15</sup> Le but de cette étude a été d'évaluer la fiabilité intrinsèque d'une méthode d'analyse des empreintes de pieds statiques ou dynamiques en vue de la détermination de l'angle et de l'appui de la marche, ainsi que de déterminer les différences entre les empreintes de pieds statiques et dynamiques pour les paramètres choisis.

## Méthode

Pour l'utilisation d'un échantillon commode, 25 sujets (17 femmes et 8 hommes) ont été choisis parmi les enseignants et les étudiants de l'université. La moyenne d'âge dans cet échantillon était de 29,04 ans (de 20 à 46,  $\pm$  7,95) avec un poids corpo-

rel moyen de 73,06 kg (de 50 à 123 kg, déviation standard [DS] 16,83 kg) et une taille moyenne de 1,69 m (de 1,56 à 1,88 m, DS 0,08 m). Les critères d'exclusion de l'étude incluait un passé de traumatisme ou d'intervention chirurgicale affectant le membre inférieur dans les 12 mois précédents, une marche apparente perturbée à l'inspection visuelle et des antécédents de maladie systémique pouvant affecter la marche. Aucun critère concernant les mouvements du membre inférieur ou la posture au cours d'une activité dynamique ou statique n'était imposé. Le comité d'éthique de l'université a donné son accord avant le commencement de l'étude. Un consentement informel a été obtenu de tous les sujets à la suite d'une explication orale et écrite de l'étude.

## Équipement

Pour les empreintes de pieds dynamiques, une piste de 10 m avec une couverture de papier fort (10 m  $\times$  56 cm) a été utilisée. Un papier fort de 1 m de longueur (largeur de 56 cm) a été utilisé pour les empreintes de pieds statiques. Tous les papiers étaient fixés par une bande brune résistante pour empêcher tout glissement au cours de la collecte des données. Un bac (d'une profondeur de 1 cm) suffisamment large pour recevoir les deux pieds, contenant un mélange de poudre de peinture noire et de talc, a été utilisé pour créer les empreintes de pieds à analyser. Afin d'assurer la reproductibilité des mesures des empreintes de pieds dynamiques ou statiques, une feuille de film transparent a été placée sur la surface et fixée avec une bande adhésive pour prévenir tout glissement au cours de l'analyse.

## Acquisition des empreintes de pieds dynamiques

Chaque sujet se tenait pieds nus à une extrémité de la piste et on lui demandait d'aller et venir deux fois pour s'accoutumer. Au début de la piste, on demandait à chaque sujet de placer les deux pieds dans le bac de poudre noire et de talc. On lui demandait ensuite de marcher à la vitesse qui lui convenait, en regardant droit devant lui tout le long du papier fort. Une fois les empreintes de pas adéquates obtenues, trois empreintes successives (analyse de la demi-marche) étaient sélectionnées et fixées avec un *spray* afin d'éviter leur étalement.

## Acquisition des empreintes de pieds statiques

Se tenant debout et pieds nus, chaque sujet était prié d'avancer dans le bac de poudre noire et de talc. Après cela, on leur demandait de marcher sur place à la vitesse qui leur convenait en regardant droit devant eux pendant 20 secondes. Ensuite, on leur demandait d'avancer sur le morceau de papier fort préparé à cet effet puis d'en sortir. Cela a été répété jusqu'à ce que trois empreintes adéquates aient été obtenues pour chaque sujet. Comme pour les empreintes dynamiques, un *spray* fixateur était utilisé pour empêcher toute altération des empreintes.

## Évaluation de la technique des empreintes de pieds

Deux groupes de données concernant les empreintes de pieds ont été analysés en utilisant une technique précédemment décrite.<sup>27</sup> Afin d'obtenir une bissection longitudinale du pied, une grille transparente était placée sur chaque empreinte de pied. Toutes les mesures étaient faites en utilisant un marqueur fin (0,5 mm) non permanent. L'angle de la marche était mesuré en degrés au moyen d'un compas standard, alors que l'appui de la marche l'était en centimètres.

La technique proposée par Wilkinson et al.<sup>31</sup> a dû être modifiée pour l'analyse de l'empreinte de pied statique. L'évaluation dynamique mettait en évidence que la bissection du talon était connectée à la bissection du talon suivante du même pied. En comparaison, l'empreinte de pieds statiques nécessitait une modification. La bissection du talon était marquée et une ligne était tirée à partir du talon parallèlement à la direction du papier fort sur lequel l'empreinte de pied avait été produite. La ligne de progression était calculée en divisant la distance de la bissection du talon pour le pied gauche et pour le pied droit. La Figure 1 illustre les bissections et les lignes tirées pour les empreintes de pieds statiques ou dynamiques, tant pour l'angle que pour l'appui de la marche. L'angle de la marche était calculé pour chaque empreinte de pied, alors que l'appui de la marche l'était pour chaque paire d'empreintes. Pour obtenir une fiabilité du processus de mesure pour les trois essais, un film transparent était placé sur la première empreinte de pied de chaque sujet (empreinte de pied statique et empreinte de pied dynamique) et la mesure était répétée une semaine plus tard, un seul chercheur effectuant toutes les mesures.

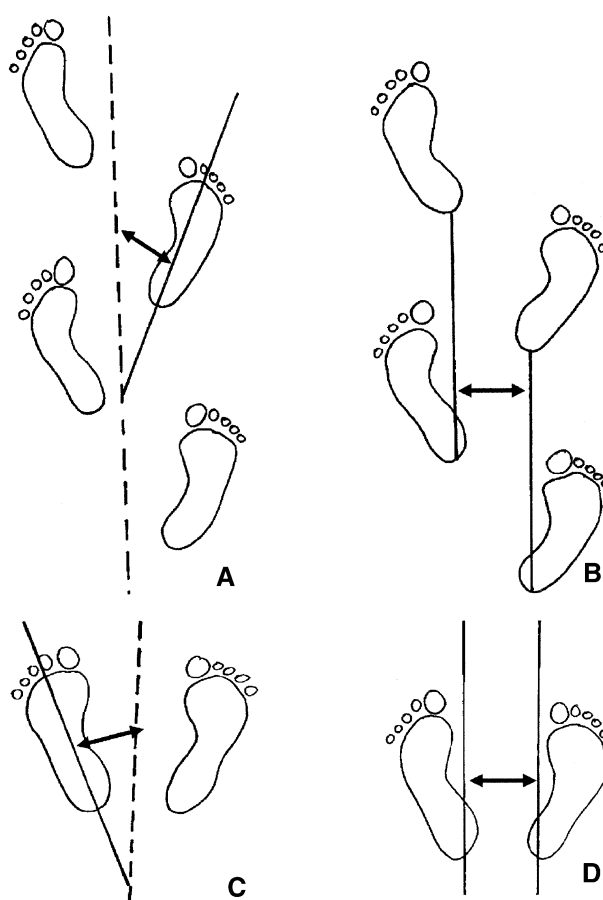


Figure 1 Représentation schématique de l'angle de la marche (A, C) et de l'appui de la marche (B, D) en vue d'une analyse dynamique ou statique.

## Analyse statistique

Les analyses ont été effectuées en utilisant SPSS version 11,5 pour Windows<sup>TM</sup> (SPSS Science, London). La fiabilité intrinsèque de la technique de mesure de l'angle et de l'appui de la marche dans les empreintes de pieds dynamiques ou statiques a été estimée en utilisant des corrélations intra-classes. Les corrélations intra-classes (ICC, de *intraclass correlations*) ont été également employées pour évaluer la fiabilité entre chacune des trois mesures de chaque empreinte de pied dynamique ou statique. Les ICC décrivent un accord d'ensemble (erreur fortuite et erreur systématique) et sont par conséquent un instrument d'évaluation statistique utile. Les coefficients de corrélation ont été eux aussi calculés pour exprimer la variation entre les mesures sous forme de pourcentage. Les critères approuvés par Fleiss<sup>33</sup> ont été employés pour interpréter les ICC (> 0,75, fiabilité excellente ; de 0,4 à 0,75, fiabilité moyenne à bonne ; > 0,4, fiabilité faible).

Afin d'évaluer la différence entre les empreintes dynamiques et les empreintes de pieds statiques, en ce qui concerne chaque paramètre (angle et

appui de la marche), les valeurs moyennes calculées pour les empreintes de pieds dynamiques ou statiques étaient comparées par des tests *t* appariés. Un modèle de régression linéaire par degré a été de plus employé pour évaluer la capacité des empreintes de pieds statiques à prédire celles d'une situation dynamique, tant pour l'angle que pour l'appui de la marche. Des tests *t* appariés ont de plus été utilisés pour évaluer la différence entre l'angle de la marche de l'empreinte de pied droit et de l'empreinte de pied gauche, pour les états dynamiques aussi bien que pour les états statiques. Un niveau alpha de 0,05 a été utilisé pour tous les tests de signification statistique. Un coefficient de corrélation *r* de Pearson a également été employé pour évaluer la consistance de ces mesures.

## Résultats

Vingt-cinq groupes complets de données ont été produits et se sont traduits par un total de 150 empreintes de pieds (75 dynamiques et 75 statiques).

### Fiabilité de la technique de mesure pour les empreintes de pieds dynamiques et les empreintes de pieds statiques

La fiabilité interne des empreintes de pieds dynamiques ou statiques pour chaque paramètre (angle et appui de la marche) est présentée dans le [Tableau 1](#). Les résultats démontrent que l'examineur unique produisait une excellente reproductibilité de la technique de mesure de chaque paramètre au cours des deux sessions de mesures, avec des valeurs allant de 0,95 à 0,97 pour l'angle de la marche dans les deux états. Les valeurs pour

l'appui de la marche se situaient entre 0,87 et 0,97 pour les deux états.

### Fiabilité interne entre les mesures

Les valeurs des ICC concernant la fiabilité des trois mesures pour les empreintes dynamiques étaient excellentes, allant de 0,81 à 0,87, tant pour l'angle que pour l'appui de la marche. Les valeurs des ICC dans le cas des empreintes statiques pour l'angle de la marche du pied droit et l'appui de la marche ont également montré une excellente fiabilité, allant de 0,81 à 0,89 respectivement. Cependant, les ICC concernant l'angle de la marche du pied gauche lors de l'état statique étaient moyennes à bonnes, à 0,72 (intervalle de confiance [IC] 0,54-0,85). Les valeurs obtenues pour les trois mesures séparées dans chaque état indiquent que les paramètres linéaires ne diffèrent pas significativement entre les mesures dans tous les états et pour chaque paramètre. Les coefficients de variation étaient faibles pour les deux groupes d'empreintes et allaient de 3,0 à 4,1 % pour l'angle de la marche, et de 2,6 à 3,9 % pour l'appui de la marche, ce qui indiquait que l'on pouvait s'attendre à ce que les mesures varient peu d'un pied au suivant. Les ICC et le coefficient de corrélation de la variation entre les mesures des deux groupes d'empreintes et de chaque paramètre sont présentés dans le [Tableau 2](#).

### Comparaison entre la moyenne des empreintes de pieds statiques ou dynamiques

L'analyse de l'angle de la marche pour le pied gauche n'a pas révélé de différences significatives entre les deux empreintes de pieds (dynamiques et

**Tableau 1** Coefficient de corrélation intraclasse (ICC) de la fiabilité de l'angle (AOG : *angle of gait*) et de l'appui de la marche (BOG : *base of gait*) pour les deux pieds dans les empreintes de pieds dynamiques ou statiques.

	Dynamique			Statique		
	AOG pied gauche	AOG pied droit	BOG	AOG pied gauche	AOG pied droit	BOG
Mesure 1 par rapport à la mesure 2	0,97	0,95	0,98	0,96	0,97	0,87

**Tableau 2** Coefficient de corrélation intraclasse (ICC) de la fiabilité intrinsèque et valeur de l'intervalle de confiance (IC) à 95% des paramètres de l'angle (AOG : *angle of gait*) et de l'appui de la marche (BOG : *base of gait*) pour trois mesures d'empreintes de pieds dynamiques ou statiques.

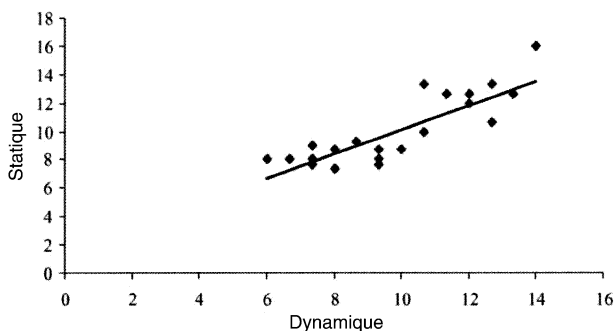
	AOG pied gauche			AOG pied droit			BOG		
	ICC	(IC 95 %)	CV (%)	ICC	(IC 95 %)	CV (%)	ICC	(IC 95 %)	CV (%)
Dynamique	0,81	(0,67-0,90)	4,1	0,87	(0,77-0,93)	3,9	0,85	(0,74-0,92)	2,6
Statique	0,72	(0,54-0,85)	3,9	0,81	(0,67-0,90)	3,0	0,89	(0,81-0,94)	3,6

ICC : coefficient de corrélation intraclasse ; IC : intervalle de confiance ; CV : coefficient de variation.

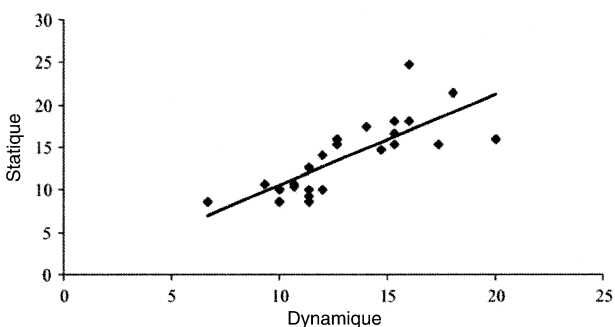


statiques) ( $t = -0,554$ ,  $df = 24$ ,  $p = 0,585$ ), bien qu'on ait remarqué que l'angle de la marche dynamique (pied gauche) était marginalement plus faible (moyenne = 9,86, DS = 2,25) comparativement aux empreintes de pieds statiques (moyenne = 10,01, DS = 2,30), ce qui représente une différence moyenne de 0,15 % (IC 95 %, 0,69-0,399). L'analyse par régression linéaire a révélé que l'empreinte de pied statique pour l'angle de la marche du pied gauche prédisait à 67,9 % celui de l'état dynamique. La corrélation entre l'angle de la marche dynamique ou statique pour l'angle gauche de la marche est illustrée sur la [Figure 2](#).

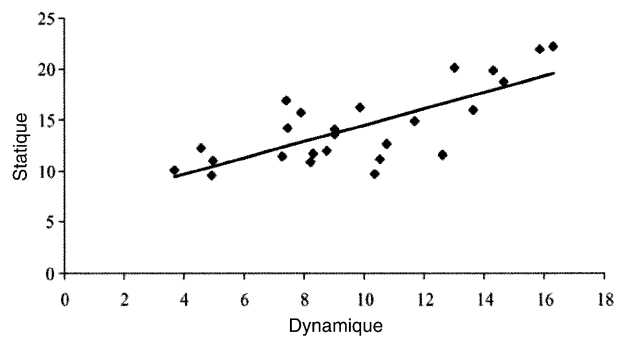
L'évaluation du pied droit concernant l'angle de la marche ne montrait aucune différence significative entre les deux empreintes (dynamique et statique) ( $t = -1,500$ ,  $df = 24$ ,  $p = 0,147$ ), bien qu'à nouveau on remarquait que l'angle de la marche (pied droit) pour l'empreinte dynamique était légèrement inférieur (moyenne = 12,93, DS = 3,16) comparativement aux empreintes de pieds statiques. Le pourcentage de cette différence a été calculé à 0,79 % (IC 95 %, 0,69-0,399). L'analyse par régression linéaire a révélé que l'empreinte de pied statique pour l'angle de la marche du pied droit prédisait à 60,4 % celui de l'état dynamique. La corrélation entre l'angle de la marche statique ou dynamique pour l'angle droit de la marche est illustrée dans la [Figure 3](#).



**Figure 2** Corrélation entre l'angle dynamique moyen de la marche pour le pied gauche dans l'état statique ou dynamique.



**Figure 3** Corrélation entre l'angle de la marche moyen pour le pied droit seul dans l'état statique ou dynamique.



**Figure 4** Corrélation entre l'appui de la marche moyen dans l'état statique ou dynamique.

L'analyse de l'appui de la marche a révélé des différences significatives entre les deux états ( $t = -8,641$ ,  $df = 24$ ,  $p = 0,000$ ) avec l'appui de la marche statique plus large (moyenne = 14,32 ; DS 3,80) que celui de la marche dynamique. Une différence moyenne de 4,5 % (IC 5,5897-3,4343) était remarquée. L'analyse par régression linéaire a révélé que l'appui de la marche mesuré statiquement prédisait 54,3 % de la variance calculée à partir de l'état dynamique. La [Figure 4](#) illustre la corrélation entre les empreintes de pieds dynamiques ou statiques en ce qui concerne l'appui de la marche.

### Comparaisons entre l'angle de la marche droit ou gauche pour les empreintes de pieds dynamiques ou statiques

La relation entre le pied gauche et le pied droit en ce qui concerne l'angle de la marche a été examinée en comparant la valeur moyenne pour chaque pied pour les empreintes de pieds dynamiques ou statiques. Pour l'état dynamique, une augmentation de 3,06 degrés (31 %) était remarquée pour le pied droit comparativement au pied gauche. Un test  $t$  apparié a révélé qu'il s'agissait d'une différence significative ( $t = -6,66$ ,  $df = 24$ ,  $p = 0,00$ ). Un élargissement de 3,70 degrés (30 %) était remarqué pour le pied droit comparativement au pied gauche dans l'empreinte de pied statique. À nouveau, une analyse plus approfondie utilisant le test  $t$  apparié a démontré une différence significative ( $t = -5,53$ ,  $df = 24$ ,  $p = 0,00$ ) entre l'angle de la marche gauche et l'angle de la marche droit.

### Discussion

Les empreintes de pieds dynamiques et les empreintes de pieds statiques de 25 sujets normaux ont été comparées en utilisant comme paramètres l'angle et l'appui de la marche. La possibilité de prédire un mouvement dynamique en utilisant des

mesures statiques mettant à profit des moyens simples et peu onéreux est un aspect motivant et elle demeure essentielle pour le progrès d'une pratique fondée sur des preuves. L'hypothèse selon laquelle la posture du membre inférieur prise par un individu au cours d'un état statique infère celle d'un état dynamique<sup>29,30</sup> semble être réitérée par cette étude. Bien que l'on conçoive que les caractères structuraux du membre inférieur ont une influence sur les performances dynamiques, une supposition fondamentale de la validité d'une telle investigation évolue autour de la capacité d'une mesure statique à révéler un comportement dynamique. Bien que l'utilisation de données obtenues à partir d'empreintes de pieds dynamiques ait apporté une large information aux cliniciens et aux chercheurs,<sup>2-7,9,10,13-15,17-19,26,31</sup> son utilisation continue au cours d'une évaluation clinique reste limitée en raison du temps requis et du manque d'espace. La présente étude indique que les empreintes de pieds calculées statiquement en ce qui concerne l'angle et l'appui de la marche peuvent inférer les résultats d'un état dynamique.

Avant d'adopter une technique de mesure en pratique clinique ou en recherche, sa fiabilité doit être établie. Dans cette étude, une excellente fiabilité du processus de mesure, tant pour l'angle que pour l'appui de la marche dans les deux états (dynamique et statique), a été démontrée. Les résultats ont donné constamment des corrélations supérieures à 0,87 ( $p < 0,001$ ), ce qui suggère que la technique (dynamique) et la technique adoptée pour l'évaluation statique sont fiables ; cela justifie donc leur utilisation en clinique et en recherche. De plus, les résultats de cette étude ont également indiqué que les valeurs des ICC pour les deux groupes de données (dynamiques et statiques) de l'angle et de l'appui de la marche étaient élevées, ce qui valide les données recueillies d'après trois empreintes de pas séparées. Bien qu'une excellente fiabilité intrinsèque et extrinsèque de telles techniques ait déjà été rapportée,<sup>25</sup> elles se rapportent à l'état dynamique uniquement mais pas à l'état statique. Ainsi, une étude ultérieure de la fiabilité extrinsèque ou intrinsèque de la méthode statique est nécessaire.

En général, les valeurs dynamiques moyennes obtenues pour l'angle et l'appui de la marche sont semblables à celles publiées antérieurement par Wilkinson and Menz,<sup>15</sup> Rigas,<sup>10</sup> Murray et al.,<sup>18,19,34</sup> Morton<sup>32</sup> et Dougan.<sup>9</sup> Il est intéressant de constater que l'angle de la marche du pied droit était constamment plus élevé que celui du pied gauche dans les trois états. De tels résultats correspondent à ceux rapportés par Dougan,<sup>9</sup> Rigas<sup>10</sup> et plus récemment Wilkinson et Menz<sup>15</sup> d'un point de vue dyna-

mique. Cependant, ils sont en opposition avec ceux de Murray et al.<sup>19</sup> et Boening<sup>14</sup> qui ont publié que le pied gauche présentait un angle de la marche plus grand. Rigas<sup>10</sup> a remarqué que de telles asymétries pouvaient avoir une importante contribution à la formation de la marche caractéristique d'un individu et pourraient être un sujet de recherche futur.

L'appui de la marche a montré des différences significatives entre l'état dynamique et l'état statique. L'analyse par régression linéaire indique aussi que le calcul de l'appui statique de la marche était un mauvais indicateur de l'état dynamique. De tels résultats ne sont peut-être pas surprenants, étant donné que nombre d'individus adoptent un appui de la marche plus petit (plus étroit) dans une position dynamique que dans une position statique ;<sup>16</sup> une telle situation traduit donc le concept de préservation de l'énergie.<sup>35</sup> Cependant, en général, les valeurs moyennes de l'appui de la marche dynamique reflètent les valeurs antérieurement publiées par d'autres chercheurs.<sup>14,15,19</sup>

Bien qu'une excellente fiabilité des techniques ait été atteinte lors de cette étude, il nous est apparu que des erreurs de mesures possibles pouvaient être associées à l'épaisseur du marqueur et à celles des lignes « fines » obtenues grâce à ce dernier. Une recherche antérieure a établi que les marques utilisées pour la mesure de l'arrière-pied étaient un important facteur de la fiabilité.<sup>27</sup> Un tel facteur doit donc être pris en considération dans l'évaluation des paramètres d'une empreinte de pied.<sup>15</sup> Tous les individus étaient encouragés à marcher à leur propre allure et, bien que de nombreuses études encouragent l'utilisation de cette méthode de recueil de données, les sujets engagés dans cette étude pourraient avoir été gênés par le fait de devoir marcher en ligne droite le long d'un chemin de papier de 10 m.

Des espaces clés pour une future recherche ont été identifiés à la suite de cette étude. Plus important encore, une analyse ultérieure de toutes les conditions de mesure dans des groupes d'âges différents pourrait confirmer d'autres effets et changements de la marche et de la position statique avec le temps. En dépit d'un consensus général<sup>15,31</sup> selon lequel les données apportées par les empreintes de pied peuvent être obtenues aussi bien de sujets chaussés que non chaussés, une recherche ultérieure devrait faciliter et identifier les différents types de chaussures susceptibles d'influer sur l'angle et l'appui de la marche. Une telle investigation devrait aussi être étendue de façon à incorporer les mesures statiques présentées dans cette étude.

## Conclusion

L'angle et l'appui de la marche sont des paramètres couramment pris en considération dans la recherche clinique. Dans cette étude, l'appui de la marche calculé d'après des empreintes de pieds dynamiques était généralement plus petit que celui calculé à partir d'empreintes de pieds statiques, et par conséquent il semble être faiblement corrélé à ce dernier. Cependant, les valeurs plus grandes de l'appui de la marche reflètent statistiquement l'appui de la marche plus large susceptible de supporter un état statique. Comparativement, l'angle de la marche est en bon accord avec les études des empreintes de pieds dynamiques antérieurement publiées. Il semble donc justifié de continuer à utiliser les données obtenues à partir des empreintes de pied pour l'évaluation des paramètres spatiaux spécifiques.

## Remerciements

Les auteurs voudraient exprimer leur gratitude à Eric Lee BSc (Hons) pour avoir revu cet article et apporté des critiques constructives. Cette étude a bénéficié de l'appui d'un Research Fellowship (SAC) de Health Professions Wales, Cardiff.

Ce texte a été publié chez Elsevier. *The Foot* 2005;15:40-6. Il a été traduit et est publié ici avec l'autorisation de l'éditeur.

## Références

- Bradford EH. An examination of human gait. *Boston Med Surg J* 1897;137:329-32.
- Fukushima T. Angle and distance between steps. *J Bone Joint Surg Am* 1955;37:1311.
- Shores M. Footprint analysis in gait documentation: an instructional sheet format. *Phys Ther* 1980;60:1163-7.
- Scrutton D, Robson P. The angle of 50 normal children. *Physiotherapy* 1958;54:363-8.
- Ellis TS. *The human foot, its form, structure, functions and clothing*. London: JA Churchill; 1889.
- Ogg HL. Measuring and evaluating the gait patterns of children. *Phys Ther* 1963;43:717-20.
- Clarkson BH. Absorbent paper method for recording foot placement during gait: suggestion from the field. *Phys Ther* 1983;63:345-6.
- Lake NC. *The foot*. London: Baillière Tindall and Cox; 1952.
- Dougan S. The angle of gait. *Am J Phys Anthropol* 1924;7:275-9.
- Rigas C. Spatial parameters of gait related to the position of the foot on the ground. *Prosthet Orthot Int* 1984;8:130-4.
- Sgarlato TE. Angle of gait. *J Am Podiatry Assoc* 1965;55:645-50.
- Donatelli DA. *The biomechanics of the foot and ankle*. Philadelphia: FA Davis; 1996.
- Kernozek TW, Ricard MD. Foot placement angle and arch type: effect on rearfoot motion. *Arch Phys Med Rehabil* 1990;71:988-92.
- Boenig D. Evaluation of a clinical method of gait analysis. *Phys Ther* 1977;57:795-8.
- Wilkinson MJ, Menz HB. Measurement of gait parameters from footprints: a reliability study. *The Foot* 1997;7:19-23.
- Whittle MW. *Gait analysis: an introduction*. Oxford: Butterworth and Heinemann; 2002.
- Murray MP, Sepic SB, Gardner GM, Downs WJ. Walking patterns in men with Parkinsonism. *Am J Phys Med* 1978;57:278-94.
- Murray MP, Kory RC, Clarkson BH. Walking patterns in healthy old men. *J Gerontol* 1969;24:169-78.
- Murray MP, Kory RC, Sepic SB. Walking patterns of normal women. *Arch Phys Med Rehabil* 1970;51:637-50.
- Guimaraes RM, Isaacs B. Characteristics of the gait in old people who fall. *Int Rehabil Med* 1980;2:177-80.
- Patla A, Proctor J, Morson B. Observations on aspects of visual gait assessment: a questionnaire study. *Physiother Can* 1988;39:311-6.
- Trew M, Everett T. Measuring and evaluating human movement. In: Trew M, Everett T, editors. *Human movement: an introductory text*. Edinburgh: Churchill Livingstone; 2001. p. 143-60.
- Donelan JM, Kram R, Kuo AD. Mechanical and metabolic determinants of the preferred step width in human walking. *Proc Biol Sci* 2001;268:1985-92.
- Williams KR, Cavanagh PR, Ziff JL. Biomechanical studies of the elite female distance runners. *Int J Sports Med* 1987;8(suppl2):107-18.
- Lapidus PW. Kinesiology and mechanical anatomy of the tarsal joints. *Clin Orthop* 1963;30:20-36.
- Kippen SC. A preliminary assessment of recording the physical dimensions of an inked footprint. *J Br Podiatr Med* 1993;48:74-80.
- 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.
- D'Amico JC. Lower extremity functional dynamics. *Clin Podiatr Med Surg* 1988;5:521-30.
- McPoil TG, Cornwall MW. The relationship between static lower extremity measurements and rearfoot motion during walking. *J Orthop Sports Phys Ther* 1996;24:309-14.
- Perry JE. *Gait analysis: normal and abnormal pathological function*. Thorofare: Slack; 1992.
- Wilkinson MJ, Menz HB, Raspovic A. The measurement of gait parameters from footprints. *The Foot* 1995;5:84-90.
- Morton DJ. The angle of gait: a study based upon the examination of feet of Central African natives. *J Bone Joint Surg* 1932;14:741-54.
- Fleiss JL. *The design and analysis of clinical experiment*. New York: John Wiley and Sons; 1986.
- Murray MP, Kory RC, Clarkson BH, Sepic SB. A comparison of free and fast speed walking patterns of normal men. *Am J Phys Med* 1966;45:8-23.
- Kuo AD. Stabilization of lateral motion in passive dynamic walking. *Int J Robotics Res* 1999;18:917-30.