

La podométrie électronique : la plate-forme EMED

Electronical podometry : EMED system

R. Maes

Service de Chirurgie Orthopédique, R.H.M.S. Baudour

RESUME

L'appréciation des charges supportées par le pied peut être réalisée par l'analyse des empreintes en charge par le biais du podoscope ou des empreintes encrées. La réalisation de radiographies du pied de face et de profil en charge, complète l'analyse statique du pied. Ces différents examens complémentaires permettent d'obtenir une appréciation statique des forces supportées par le pied. Grâce à l'évolution de la technologie, la podométrie électronique est apparue pour permettre des mesures dynamiques des forces appliquées sur le pied au cours de la marche. Le système EMED et ses différents champs d'application clinique sont décrits.

Rev Med Brux 2006 ; 27 : 485-8

ABSTRACT

The loads supported by the feet can be appreciated by the analysis of footprints. X-rays of the feet in weight-bearing complete the static analysis of the foot. The footprints and X-rays of the feet allow to obtain a static assessment of the loads applied on the foot.

With the evolution of the technology, the EMED system for measuring dynamic foot pressures is appeared. The EMED system with the different clinical applications is described.

Rev Med Brux 2006 ; 27 : 485-8

Key words : *EMED system, plantar pressure measurement*

INTRODUCTION

La station debout et la marche sont deux caractéristiques essentielles de l'homme. Les forces, appliquées sur le pied, sont considérables et s'exercent sur une surface réduite. La charge appliquée sur le pied en appui monopodal peut atteindre jusqu'à 5 à 7 fois le poids corporel. L'analyse des empreintes en charge par le biais du podoscope ou d'empreintes encrées est le moyen le plus simple d'apprécier les charges supportées par le pied. L'analyse de la statique du pied peut être complétée par la réalisation de radiographies du pied de face et de profil en charge. Ces différents examens permettent des mesures statiques et non dynamiques des forces et des pressions supportées par le pied au cours de la marche.

Carley en 1872 et Marey en 1873 sont les premiers auteurs à réaliser des analyses dynamiques du contact entre le pied et le sol au moyen d'appareils pneumatiques^{1,2}. En 1937, Schwartz *et al* utilisent une

lame de caoutchouc, garnie de promontoires pyramidaux sur la face inférieure, posée sur une épaisse plaque de verre³. Dix ans plus tard, ils utilisent pour la première fois de petites jauges discoïdes collées sur la plante du pied⁴.

Au cours de l'évolution technique dans l'analyse dynamique du contact entre le pied et le sol, les capteurs de pression à variation de capacité et à variation de conduction (les plus utilisés) sont apparus. En 1963, Baumann *et al* utilisent des micro-condensateurs qui enregistrent des variations de capacité, transformées en variations de voltage par un préamplificateur⁵. Soames *et al* en 1982, utilisent un capteur de conduction au béryllium/cuivre⁶.

Les plates-formes de force, utilisées en 1975 par Burny *et al*, Grundy *et al* et Olivari, permettent de mesurer les trois composantes spatiales de la force, les moments et l'évolution du point d'application de la force de résultante⁷⁻⁹.

En 1978, Chodera *et al* utilisent le pédobarographe qui permet l'analyse des distributions de pressions par le biais de la réflexion de la lumière¹⁰.

Hennig *et al*, au cours de cette année 1978, mettent au point des trames à variation de capacité¹¹. En 1978, Hutton *et al* développent une matrice de capteurs de pression¹².

Après une dizaine d'années d'évolution technologique, les trames et les capteurs ont été améliorés pour donner naissance à la podométrie électronique afin de réaliser des mesures dynamiques des forces et des pressions appliquées sur le pied au cours de la marche.

Les auteurs décrivent le système EMED et ses différents champs d'application clinique.

LA PODOMETRIE ELECTRONIQUE

Le but de la podométrie électronique est d'analyser, au moyen de capteurs électroniques, des variations de courant induites par la pression au niveau d'une trame barosensible.

Différents types d'appareil existent sur le marché. Le choix d'un appareil dépend des caractéristiques des capteurs de la trame barosensible (fiabilité, sensibilité, nombre suffisant de capteurs par unité de surface, etc.), des possibilités du logiciel informatique pour traiter les données et du coût de l'appareil.

Le système EMED, actuellement le plus utilisé, a été créé suite aux travaux de Hennig et Nicol publiés en 1978. Sa fiabilité a été démontrée lors de plusieurs études publiées dans la littérature¹³⁻¹⁷. Il comporte plusieurs éléments. Une plate-forme de 48 x 31 cm, constituée d'une trame barosensible comprenant 1.344 capteurs, est incorporée dans un couloir de marche. Celle-ci est reliée à un pédographe EMED-SF muni d'un logiciel de base, d'un clavier et d'un lecteur de disquette, et à un ordinateur équipé du logiciel Multimask. Les informations recueillies par la plate-forme sont visualisées sur un moniteur couleur et peuvent être imprimées sur une imprimante couleur à jet d'encre.

Le podomètre électronique EMED peut être couplé à d'autres instruments de mesure comme l'électromyographie ou la vidéo.

Le patient marche normalement sans altérer sa marche sur le couloir de marche et de telle manière à ce qu'un pied tombe sur la trame barosensible. Différentes études ont montré que le patient doit réaliser trois passages successifs, sans hésitation, pour chaque pied afin de minimiser les variations intra-individuelles de chaque pas^{15,18,19}.

DONNEES RECUEILLIES PAR LE SYSTEME EMED

La plate-forme de marche EMED permet de réaliser des mesures statiques et dynamiques. Le programme " géométrie " permet de calculer des paramètres géométriques (Figure 1). L'intérêt majeur du système EMED est de réaliser des mesures dynamiques au moyen d'un multiplexeur qui enregistre les variations de pression au niveau de chacun des capteurs (2 mesures par seconde pour un maximum de 150 mesures). Les images séquentielles obtenues (environ 50 à 60 images successives pour la durée normale d'une phase d'appui) sont stockées en mémoire.

En fin d'enregistrement, le moniteur couleur affiche une image artificielle appelée MPP (*maximum pressure picture*) où les différents niveaux de pression enregistrés sont représentés par le biais d'une échelle colorimétrique (Figure 2). La couleur blanche représente le niveau de pression enregistré le plus bas et la couleur rose bonbon, le niveau de pression le plus élevé. Sur l'image colorée de l'empreinte plantaire (image MPP), on visualise la courbe noire d'évolution du point d'application de la résultante des forces au cours de la phase d'appui (*gait line*). Sur l'écran du moniteur, à droite de l'image MPP, trois graphiques superposés sont affichés et représentent l'évolution temporelle de la pression, de la force et de la surface.

L'image MPP peut aussi être affichée sous forme d'image " *magic mountain* " qui permet de visualiser les différents niveaux de pression enregistrés sous forme de relief. Cette représentation de l'image MPP est importante dans un but éducatif pour les patients diabétiques.

Le logiciel Multimask permet de définir, au départ des données initiales, jusqu'à 12 zones d'intérêt pour lesquelles les paramètres suivants seront calculés : la pression, la force, la surface, la durée d'appui, l'intégrale pression-temps, l'intégrale force-temps, l'instant de la pression maximale et l'instant de la force maximale.

Lorsque plusieurs enregistrements sont réalisés chez le même patient, la déviation standard et le coefficient de variation sont affichés.

DISCUSSION

L'analyse dynamique des pressions au cours de la marche est importante dans la compréhension des désordres fonctionnels du pied mais elle reste complémentaire à l'anamnèse, l'examen clinique, l'analyse des empreintes en charge par le biais du podoscope ou des empreintes encrées, et les radiographies du pied de face et de profil en charge.

Plusieurs études attestent de la fiabilité et de la reproductibilité des mesures de la plate-forme de marche EMED. Cette fiabilité est accentuée par l'étalonnage de l'appareil avant toute étude et par trois

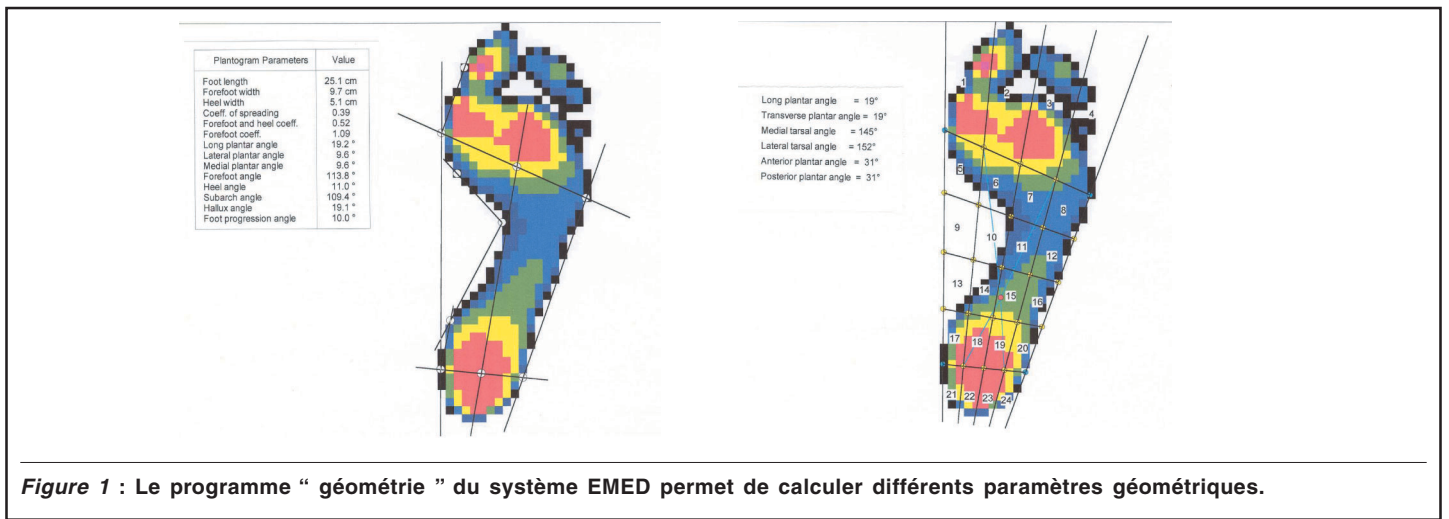


Figure 1 : Le programme “ géométrie ” du système EMED permet de calculer différents paramètres géométriques.

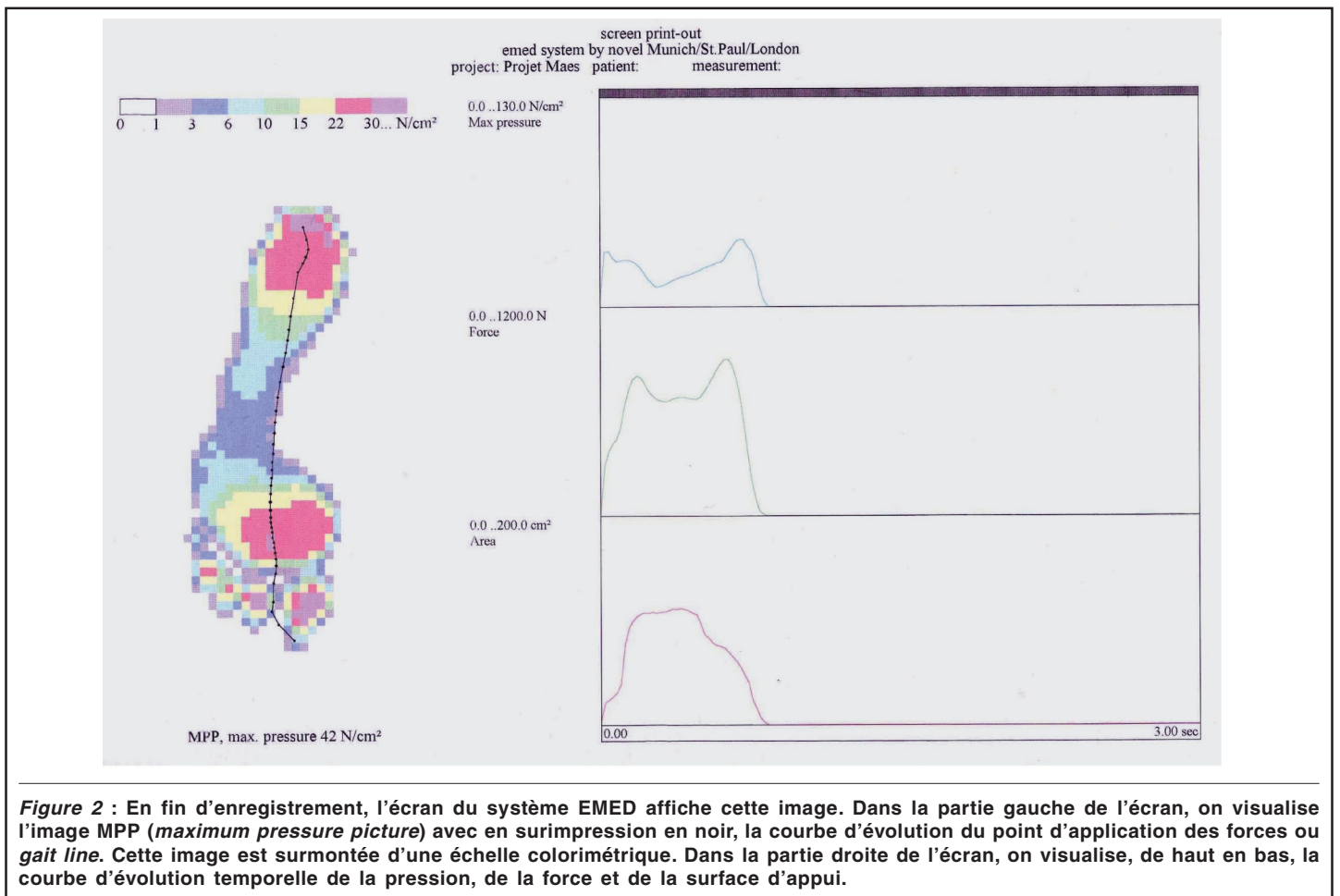


Figure 2 : En fin d'enregistrement, l'écran du système EMED affiche cette image. Dans la partie gauche de l'écran, on visualise l'image MPP (maximum pressure picture) avec en surimpression en noir, la courbe d'évolution du point d'application des forces ou *gait line*. Cette image est surmontée d'une échelle colorimétrique. Dans la partie droite de l'écran, on visualise, de haut en bas, la courbe d'évolution temporelle de la pression, de la force et de la surface d'appui.

passages successifs et sans hésitation du patient sur la trame barosensible^{15,18,19}.

Avant d'utiliser la podométrie électronique en pathologie, il nous paraît important d'avoir des normes de référence pour les différents paramètres étudiés par l'appareil.

Plusieurs auteurs ont publié les résultats de la distribution “ normale ” des pics de pression dans les différentes zones de la plante du pied au cours de la marche chez des patients asymptomatiques et sans déformations des pieds¹⁹⁻²². Ils ont constaté que les pics de pression plus élevés se situent sous le talon,

les têtes du deuxième et troisième métatarsiens, et l'hallux sans que ces valeurs soient pathologiques.

Le diagnostic de certaines pathologies affectant le pied et l'évaluation des traitements de celles-ci représentent les deux principaux champs d'application des mesures dynamiques des pressions plantaires au cours de la marche. La recherche scientifique utilise également la podométrie électronique.

Les pathologies affectant le pied susceptibles de bénéficier de la podométrie électronique sont : les séquelles de fracture, les métatarsalgies, les pieds valgus, les pieds insensibles, etc. Le pied valgus

fonctionnellement normal se distingue du pied valgus pathologique par un déroulement normal du pas malgré un examen statique anormal. Les pieds insensibles sont principalement dus aux neuropathies diabétiques mais peuvent être secondaires aux neuropathies éthyliques, aux atteintes traumatiques du système nerveux central et/ou périphérique, etc.

Dans une étude réalisée en 1997, Stess *et al* constatent que les pieds diabétiques, avec ou sans neuropathie sensitive, présentaient des pressions plus élevées sous les têtes du premier, second et troisième métatarsiens²³. Si le patient souffre de neuropathie sensitive avec antécédents d'ulcération plantaire, les pressions les plus élevées se situent sous les têtes du quatrième et cinquième métatarsiens. Shaw *et al* montrent que les forces de cisaillement antéro-postérieur et médial-latéral sont moins importantes que les forces verticales (pressions) appliquées sur la plante du pied diabétique²⁴. En 2002, les résultats d'une étude, réalisée par Perry *et al*, montrent que les forces de cisaillement maximum et les pressions appliquées sur le pied diabétique se produisent au même endroit mais à des instants différents²⁵. Les forces de cisaillement les plus élevées sont localisées sous les têtes des métatarsiens latéraux.

Dans le cadre de l'évaluation, la podométrie électronique est intéressante pour suivre l'évolution de traitements conservateurs (semelles orthopédiques, plâtres, décharge, etc.), de traitements chirurgicaux (cure de métatarsalgies, arthrodèse, cure d'hallux valgus, etc.) ou pour évaluer un patient dans le cadre d'une expertise médico-légale.

CONCLUSIONS

La podométrie électronique est un appareil onéreux mais il fournit de précieuses informations dans le cadre de la prévention de certaines pathologies affectant le pied (neuropathies diabétiques, métatarsalgies, etc.), de l'évaluation des différents traitements orthopédiques et chirurgicaux, et éventuellement de l'expertise du dommage corporel.

Toutefois, elle doit être réservée à des praticiens compétents dans la connaissance des pathologies affectant le pied et dans l'utilisation de cet appareil. Un minimum de connaissances informatiques est requis. Ces connaissances permettent de sélectionner les indications appropriées et d'interpréter correctement les résultats fournis.

BIBLIOGRAPHIE

- Carlet G : Sur la locomotion humaine. *Ann Sci Naturelles* 1872 ; Série 5 : 1-92
- Marey EJ : *La machine animale*. Paris, Baillière G, 1873
- Schwartz RP : Some factors which influence the balance of the foot in walking : the stance phase of gait. *J Bone Joint Surg* 1937 ; 19 : 431-42
- Schwartz RP, Heath AL : The definition of human locomotion on the basis of measurement : with description of oscillographic method. *J Bone Joint Surg* 1947 ; 29 : 203-14
- Baumann JH : Plantar pressures and trophic ulcers. *J Bone Joint Surg* 1963 ; 45B : 652-73
- Soames RW, Stott JR, Goodbody A, Blake CD, Brewerton DA : Measurement of pressure under the foot during function. *Med Biol Eng Comput* 1982 ; 20 : 489-95
- Burny F, Anthonis-Lamme A : Etude clinique de la marche par plate-forme dynamométrique. *Acta Orthop Belg* 1975 ; 41 (Suppl 1) : 59-68
- Grundy M, Tosh PA, McLeish RD, Smidt L : An investigation of the centers of pressure under the foot while walking. *J Bone Joint Surg* 1975 ; 57B : 98-103
- Olivari D, Burny F, Halleux P : Etude de la marche par plate-forme dynamométrique. Nouveau dispositif de mesure. *Acta Orthop Belg* 1975 ; 41 (Suppl 1) : 47-58
- Chodera JD : The technology of the pedobarograph. *Bradur Report* 1978 : 159-79
- Hennig EM : Registration methods for time-dependent pressure distribution measurements with mats working as capacitors. *Int S Biomech* 1978 ; 2a : 361-7
- Hutton WC, Dhanendran M : A study of the distribution of load under the normal foot during walking. *Int Orthop* 1979 ; 3 : 153-7
- Heidinger F, Kurz B, Selbach R, Diebschlag W : Einsatzmöglichkeiten eines Druckverteilungsmessgerätes zur anthropometrischen und orthopädischen Fussdatenerfassung. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 1987 ; 125 : 201-5
- Hughes J, Kriss S, Klenerman L : A clinician's view of foot pressure : a comparison of three different methods of measurement. *Foot Ankle* 1987 ; 7 : 277-84
- Hughes J : Reliability of pressure measurements : the EMED-F system. *Clin Biomech* 1991 ; 6 : 14-8
- Hughes J, Clark P, Linge K, Klenerman L : A comparison of two studies of the pressure distribution under the feet of normal subjects using different equipment. *Foot Ankle* 1993 ; 14 : 514-9
- Graf PM : The Emed system of foot pressure analysis. *Clin Podiatr Med Surg* 1993 ; 10 : 445-54
- Libotte M, Zygas P, Giudici S, Noel B : Podométrie électronique. Deux années d'expérience : rapport préliminaire. *Acta Orthop Belg* 1992 ; 58 : 448-52
- Libotte M : Contribution à la biomécanique de la cheville et du pied. Analyse dynamique des pressions plantaires. Application clinique à la pathologie du pied. Thèse, U.L.B., année académique 1994-1995
- Shorten M : Plantar pressures during barefoot walking (abstract) ; Presented at the Twelfth International Congress of Biomechanics. Los Angeles, University of California, 1989
- Bennett PJ, Duplock LR : Pressure distribution beneath the human foot. *J Am Podiatr Med Assoc* 1993 ; 83 : 674
- Bryant AR, Tinley P, Singer KP : Normal values of plantar pressure measurements determined using the EMED-SF System. *J Am Podiatr Med Assoc* 2000 ; 90 : 295-9
- Perry JE, Hall JO, Davis BL : Simultaneous measurement of plantar pressure and shear forces in diabetic individuals. *Gait Posture* 2002 ; 15 : 101-7
- Shaw JE, van Schie CH, Carrington AL, Abbott CA, Boulton AJ : An analysis of dynamic forces transmitted through the foot in diabetic neuropathy. *Diabetes Care* 1998 ; 21 : 1955-9
- Stess RM, Jensen SR, Mirmiran R : The role of dynamic plantar pressures in diabetic foot ulcers. *Diabetes Care* 1997 ; 20 : 855-8

Correspondance et tirés à part :

R. MAES
Chaussée de Bruxelles 321
6042 Lodelinsart

Travail reçu le 11 janvier 2005 ; accepté dans sa version définitive le 23 décembre 2005.