

# INTÉRÊT DU FOOTSCAN EN PATHOLOGIE SPORTIVE

P. CLOSE (1), L. LAURENT (2), J.M. CRIELAARD (3)

**RÉSUMÉ :** L'examen clinique du pied d'un patient ou d'un sujet sportif nécessite une analyse de la marche (et de la course). La technologie actuelle permet de disposer de moyens fiables pour évaluer les variations temporelles de pressions plantaires; il est possible de déduire des anomalies à l'origine de pathologies, que ce soit chez le sportif soumettant ses pieds à des contraintes importantes ou chez le sujet pathologique.

**MOTS CLÉS :** *Podologie - Traumatologie du sport - Pressions plantaires.*

## INTRODUCTION

Lors des consultations de centres médico-sportifs, 35 % des lésions affectent les membres inférieurs; elles sont régulièrement en rapport avec les sollicitations biomécaniques de la course, du football et de mouvements explosifs et/ou de stabilisation (1). Dans le domaine de la course à pied par exemple, et concernant les membres inférieurs, les statistiques sont les suivantes (2) : jambe 20 %, cheville 15 % et pied 15 %.

La pathologie comprend principalement les lésions traumatiques (entorses, ...) et celles, microtraumatiques, liées à l'hyperusage (l'«over-use» des anglo-saxons), motivant plus de 50 % des consultations (1).

Les lésions micro-traumatiques les plus fréquentes sont les tendinopathies, les fractures de fatigue, les syndromes compartimentaux et les «shin splints» (1). La plupart des travaux évoquent des facteurs étiologiques extrinsèques et intrinsèques (3). Les facteurs extrinsèques (4) concernent les erreurs techniques, l'équipement inadéquat, une mauvaise planification de l'entraînement. Les causes intrinsèques (4) sont généralement liées aux particularités biomécaniques de chaque athlète. Il s'agit de troubles statiques, de faiblesses, de raideurs ou de mauvais équilibre musculaire (agonistes/antagonistes) (5). Divers travaux (6) concernent les liens entre les anomalies biomécaniques et le type de lésions.

Après un rappel des différents moyens diagnostiques de la pathologie jambe-pied-cheville, ainsi que de leur éventuelle insuffisance, nous aborderons quelques pathologies, illustrées par leur aspect classique sur le podoscope. Nous rappellerons les grands principes qui régissent l'analyse de la marche et de la course. Nous évo-

## THE «FOOTSCAN» IN SPORT MEDICINE

**SUMMARY :** Clinical examination of the foot in a patient or sportsman requires a detailed analysis of walking (and running). Current technology allows to study temporal fluctuations of plantar pressures and to detect the anomalies responsible for sport specific pathologies or pathologies encountered in sick predisposed people.

**KEYWORDS :** *Podology - Sport traumatology - Plantar pressures.*

querons enfin l'avenir médico-sportif du système «footscan».

## LES SYSTÈMES D'ÉVALUATION EN PODOLOGIE

### L'EXAMEN CLINIQUE DU PATIENT ET DE SES CHAUSSURES

L'inspection apprécie l'aspect statique du pied, en charge et puis en décharge, son morphotype et ses éventuelles déformations. L'arrière pied est physiologiquement en valgus, avec un angle de 2 à 5 degrés entre l'axe calcanéen et celui du tibia (repéré par l'angle fait par le tendon d'Achille). La longueur relative des 3 premiers orteils définit trois canons (égyptien, grec, carré). L'assise plantaire établit un continuum entre le pied creux au 3ème degré (appui séparé entre le talon antérieur et postérieur) et le pied plat au 3ème degré (assise complète, élargie dans sa portion médiane).

Le FPI (Foot Posture Index), établi sur base de 8 paramètres (articulation talonaviculaire, position du plan frontal calcanéen, signe de Helbing's, courbe supra- et inframalléolaire, congruence du bord latéral du pied, palpation de la tête du talon, congruence de la MLA ou arche longitudinale médiane, mouvements d'adduction et d'abduction du pied), précise l'éventuelle tendance supinatrice, pronatrice ou neutre du pied (7).

Il apparaît nécessaire de repérer les éventuelles zones d'hyperpression (durillons, callosités,...). L'inspection des chaussures, lien entre les approches statiques et dynamiques, apprécie les éventuelles zones d'usures de la semelle extérieure (attaque du talon, poussée du gros orteil), de la semelle interne (éventuelles zones d'hyper-appui caractérisées par une usure de certaines régions : une ou l'autre tête métatarsienne, talon,...), la déformation globale de la chaussure (tige, avant pied,...) : une tige (élément postérieur de la chaussure) déformée vers l'intérieur suggère éventuellement un arrière-

(1) Assistant, (2) Consultant, (3) Professeur ordinaire ULg, Chef de Service, Service de Médecine de l'Appareil locomoteur, CHU Sart Tilman, Liège.

ped valgus significatif avec possible décompensation,...

Enfin, outre les amplitudes des différentes articulations et l'évaluation isométrique musculaire, l'étude de la marche apparaît capitale : boiterie, mauvais déroulement du pas, désaxations par esquives des zones douloureuses, anomalies lors des différentes phases du pas ...

La palpation et la recherche d'éventuelles régions douloureuses termine l'examen.

## LA PODOSCOPIE

L'empreinte statique du pied au podoscope apprécie le degré de pied plat ou creux. L'assise comporte normalement 7 zones d'appui constantes : talon postérieur, talon antérieur et 5 pulpes. L'isthme reliant talon antérieur et postérieur peut être absent (pied creux 3ème degré).

Le podogramme encre (réalisation d'une empreinte plantaire statique par un système de type «stencil») fournit quelques informations : la surface de l'assise plantaire, les différents axes et le degré d'encrage appréciant la répartition des pressions.

Les limites du podogramme encre concernent l'abord du pied dans un seul plan et les modifications de certains appuis par la pathologie. Le podogramme ne peut jamais être considéré que comme un instantané.

A titre d'exemples, citons quelques anomalies statiques et leurs conséquences qui offrent une meilleure compréhension de la physiopathologie :

- la hauteur de l'arche longitudinale du pied : les arches hautes, plus rigides et donc absorbant moins les chocs, prédisposent aux lésions de surmenage (2) et, notamment, les fractures de stress tibiales et fémorales;

- les pieds creux, incapables d'une pronation suffisante, absorbent moins efficacement les chocs;

- les pieds plats favoriseraient les lésions des métatarsiens, voire de la portion médiane des tibias en raison d'une contrainte en torsion exagérée durant la phase de rotation interne;

- une insuffisance fonctionnelle tibiale postérieure peut expliquer les douleurs sur pied plat secondaire chez l'adulte se traduisant par une diminution de la mobilité du médiopied en inversion, une difficulté lors de la marche sur sols irréguliers, la descente des escaliers (2). La pathologie évolue vers un affaissement progressif de l'arche longitudinale, un valgus du médiopied et une abduction de l'avant pied rendant le

chaussage plus difficile (2). Le port de semelles orthopédiques adaptées et/ou la mise en place d'une contention (taping) pourraient atténuer le pied plat et la pronation (8).

De nombreux facteurs intrinsèques sollicitent le tendon d'Achille : hyperpronation, diminution de la mobilité de l'articulation sous-talienne ou de la tibio-tarsienne, différence de longueur des membres inférieurs, varus de l'avant-pied (3), augmentation de l'inversion de l'arrière-pied, diminution de la flexion dorsale de cheville (raidier du Système Suro-Achilléo-Plantaire) (2). Un alignement anormal et/ou une biomécanique non conforme seraient responsables de 60 à 70 % des lésions.

Les «shin splints» (15-20 % des lésions des coureurs (2) (ou périostalgie) s'expliquent par l'importance des forces de valgisation de l'arrière pied, par une pronation excessive, par une antéversion excessive du col fémoral, par un genu varum, un varus tibial ou de l'avant-pied.

Le syndrome de l'essuie-glace (tenseur du fascia lata au niveau du condyle fémoral externe) semble favorisé par un genu varum, une pronation excessive, une différence de longueur des membres inférieurs (2).

Une statique podale pronatrice favoriserait les ERLLP (Exercice Related Lower Leg Pain) (4), tout comme une pronation sous-talienne dynamique trop importante (7). Le rôle de la pronation a été évoqué lors de l'absorption des chocs. Si ce mouvement se déroule selon une chronologie temporelle différente, les muscles antipronateurs (intrinsèques et extrinsèques du pied) subissent des sollicitations excentriques plus contraignantes, impliquant une absorption de force plus importante au niveau de leur insertion (7).

Certains pieds s'avèrent normaux d'un point de vue statique, mais démontrent, notamment lors des activités sportives, une cinétique anormale susceptible d'entraîner l'apparition de lésions.

Des périostalgies semblent fréquemment associées à une laxité de chevilles et à leur instabilité relative lors de la phase de soutien de la course (8); il en va de même pour une augmentation de l'inversion de la cheville, pour l'hyperpronation, via une transmission de force exagérée et la vitesse de pronation (7).

Certaines «aberrations» biomécaniques, tel le pied cavus ou un varus du tibia, semblent plus difficiles à corriger que des changements dynamiques dont l'origine provient généralement d'un déficit de force ou de contrôle moteur. Les semelles pourraient agir autant par effet de pro-

prioception que par leur structure correctrice elle-même.

Le pied «sportif» n'est pas utilisé dans les mêmes conditions que celles du sédentaire. Les charges différentes et, surtout, leurs répétitions impliquent une éventuelle décompensation plus rapide.

La mise en charge cyclique et l'impact jouent un rôle important dans la survenue des fractures de stress (9). Leur survenue pourrait être prédite sur base de la charge de travail, du nombre de répétitions et de la fréquence de mise en charge (9).

1) Lors de la course à pied, les forces d'impact représentent 2 à 5 fois la valeur du poids du corps (9), et sont influencées par la vitesse, la cinétique et la biomécanique de la course. Elles atteignent 10 à 14 fois le poids corporel lors des sauts (10), alors qu'au cours de la marche la sollicitation n'atteint que 1,3 – 1,5 fois le poids du corps (11).

2) Des forces de tensions de 4000N sont décrites au niveau du tendon d'Achille au cours de sauttements (3).

3) Lors de la course, chaque pied percute le sol environ 600 fois par km (4) et la force absorbée par mile parcouru atteint 110 tonnes (8) ...

Cette différence essentielle entre approche statique et dynamique nécessite un bref rappel biomécanique de la marche et de la course :

*Marche* : déplacement vers l'avant du centre de gravité, avec maintien de l'équilibre dynamique. Le contact avec le sol reste toujours présent; il s'agit d'une alternance régulière d'appui uni et bi-podal (Figure 1).

*Course* : succession d'appui unipodal et de lévitation ou suspension bipodale, disparition de la phase de double appui. Le corps s'élève verticalement à chaque lévitation, avec une amplitude inversement proportionnelle à la vitesse et à la longueur de la foulée. La courbe du centre de poussée se déplace latéralement sur l'assise plantaire.

Lors de la course, on assiste à un allongement relatif de la phase de balancement par rapport à celle de l'appui, associé à une diminution de la durée du cycle, une augmentation de l'amplitude de la foulée et de la cadence (12).

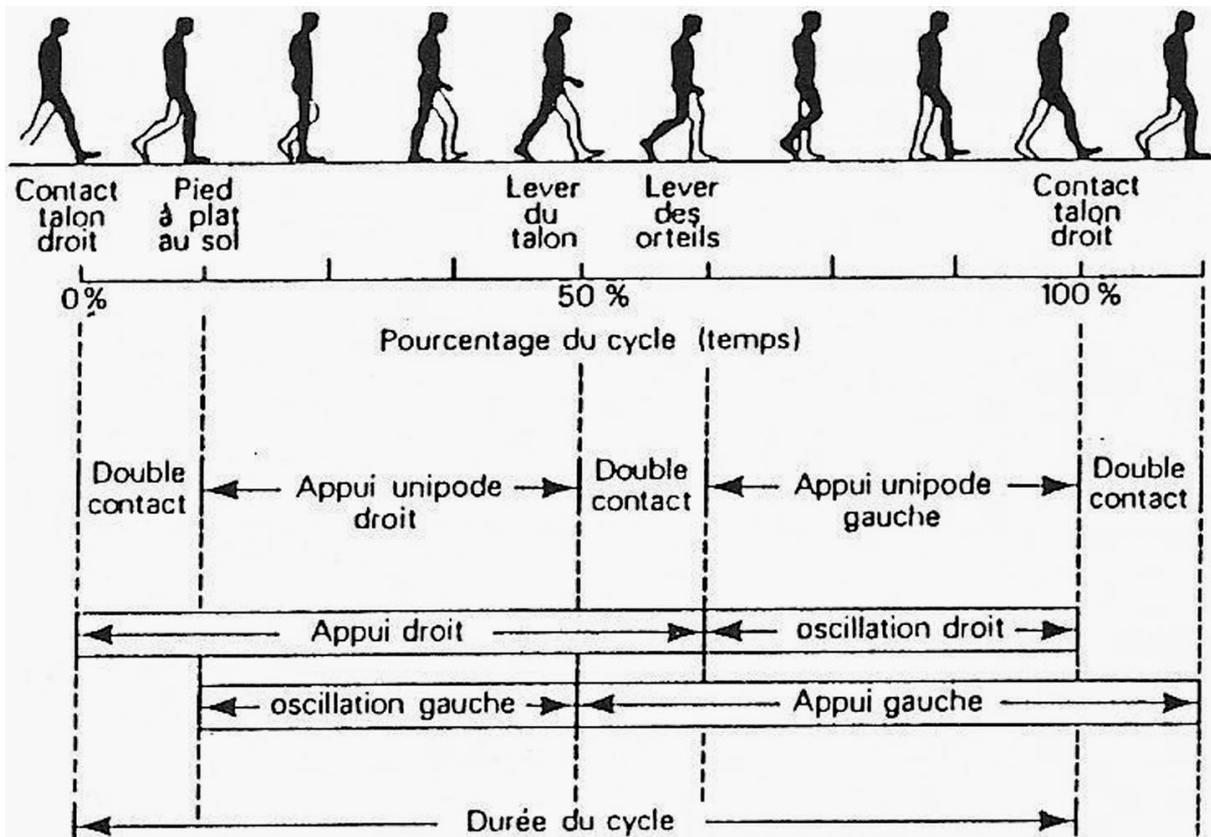


Figure 1 : Le cycle de marche (d'après Pélissier et al., 1995)

80 % des coureurs touchent initialement le sol au niveau de la portion postéro-latérale du pied, 20 % la portion médiolatérale. Dès le contact, l'arrière-pied en inversion modérée réalise une éversion rapide (30 ms, c'est-à-dire 5 fois moins de temps qu'au cours de la marche). Une pronation plus importante se produit lors de la course à pied nu, comme si la nécessité d'absorption plus importante de l'impact requérait ce type d'action.

La distribution de la surface de contact et la sollicitation liée à ce contact au niveau plantaire influencent la biomécanique du pied, de la cheville et du membre inférieur (13), permettant l'étude préliminaire des relations entre lésion du membre inférieur et caractéristique de l'arche longitudinale médiale. Le pied dynamique comporte trois catégories : le pied supinateur, avec inversion relative du calcaneum et arche haute, est réputé peu souple, tandis que le pied pronateur, en éversion relative du calcaneum et arche plate, est réputé plus souple, voire hypermobile, la 3ème catégorie étant le pied neutre.

#### SYSTÈME «FOOTSCAN»

L'examen clinique, assurant l'évaluation statique du pied, apparaît moins approprié pour apprécier d'éventuelles anomalies fonctionnelles qui nécessitent des mesures plus objectives.

Le développement informatique étudie la pression plantaire dynamique, lors de la marche, la course, ou au cours d'activités de la vie quotidienne (14). Le pédobaromètre idéal pour le clinicien devrait être aisé à transporter et utiliser, rapide pour l'enregistrement statique et dynamique, même à vitesse importante, en conservant une même liberté de mouvement; la calibration devrait être simple et le coût réduit (15).

Le système footscan (14) mesure la pression plantaire dynamique et ses variations temporelles lors du «déroulé» du pied. Les études fonctionnelles antérieures (13) utilisaient le plus souvent un système peu reproductible (pronateur neutre supinateur) (14). De nombreuses études ont décrit l'activité fonctionnelle du pied (16, 17, 18).

Le système footscan aborde l'aspect dynamique et permet au sportif d'utiliser ses propres chaussures. Il comporte une plateforme de 2 mètres de long sur 0,4 mètre de large, placée sur un couloir de course. Il capte l'impression du pas, via 15 à 20.000 capteurs répartis sur la plateforme (fonctionnant à 480hz). Une variante consiste en «l'embarquement» des capteurs dans

des semelles conçues pour être placées dans la chaussure du sujet à analyser (13). Les semelles de 2 mm d'épaisseur sont reliées à l'aide d'un câble à un micro-ordinateur porté par le sujet.

Le premier système étudie la relation sol/chaussure, le second la relation pied/chaussure.

Il convient de comparer des données issues d'un même système; non seulement, la technique de mesure semble importante pour l'évaluation des pressions, mais selon le système d'analyse, des données semblables pourraient être interprétées différemment (19).

Les informations recueillies sont transformées par des logiciels informatiques (10); 3 à 8 régions anatomiques du pied (talon plat, talon médial, 5<sup>ème</sup>, 4<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup>, 2<sup>ème</sup> et 1<sup>er</sup> méta, hallux) permettent d'évaluer les fluctuations temporelles et lors de la pression.

Les différentes caractéristiques spatio-temporelles (durée appui, flottement,...) de même que les valeurs de pressions (courbes et pics de pression, impulsion : pression moyenne x durée de mise en charge, début et fin de contact) en de multiples points de l'appui, permettent de définir le centre de poussée, la durée et la séquence d'appui des différentes composantes du pied. (Figures 2, 3).

L'étude de l'impulsion verticale apprécie le schéma de marche ou de course et sa progression. Le système, fréquemment couplé à une analyse vidéo et des systèmes infrarouges, observe la dynamique des différents segments (4).

Le système fiable (20), participe à l'identification des facteurs lésionnels du pied et de la cheville.

Les forces de réaction au sol (verticale et pression plantaire) sont très variables, rendant parfois difficile l'interprétation des données. Les valeurs pourraient varier avec l'âge, le genre et la race, mais aussi avec l'environnement, la fatigue, la vitesse de déambulation, les caractéristiques personnelles et des données anthropométriques, le style de marche et de chaussage (14) :

- 1) l'évaluation pédobarographique des pics de forces verticales est asymétrique au dépens du pied non dominant;
- 2) il existe une relation entre les pics de force verticale et le poids corporel;
- 3) il existe des différences dans les valeurs de pression statique et dynamique; lorsqu'on compare les différentes régions du pied, celles-ci

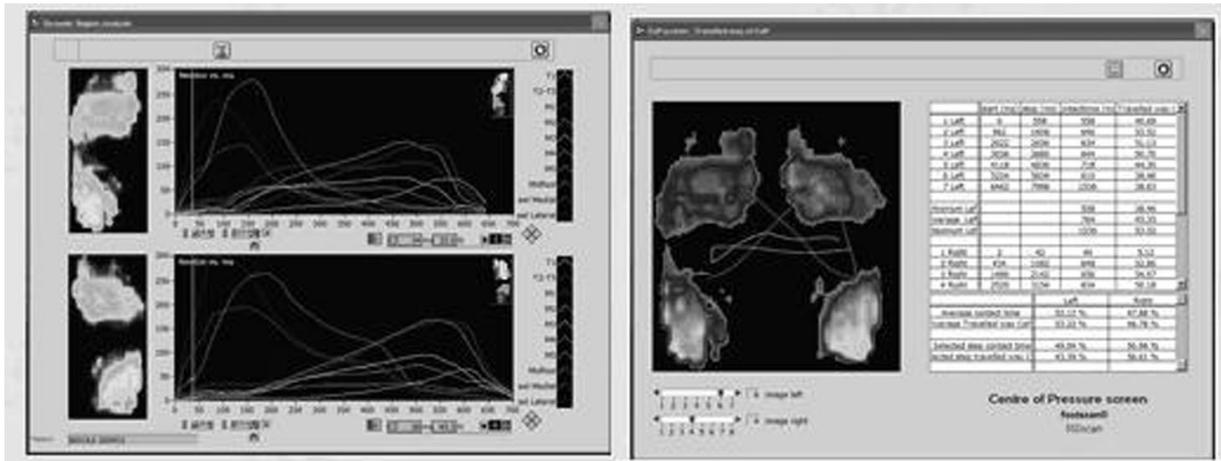


Fig. 2

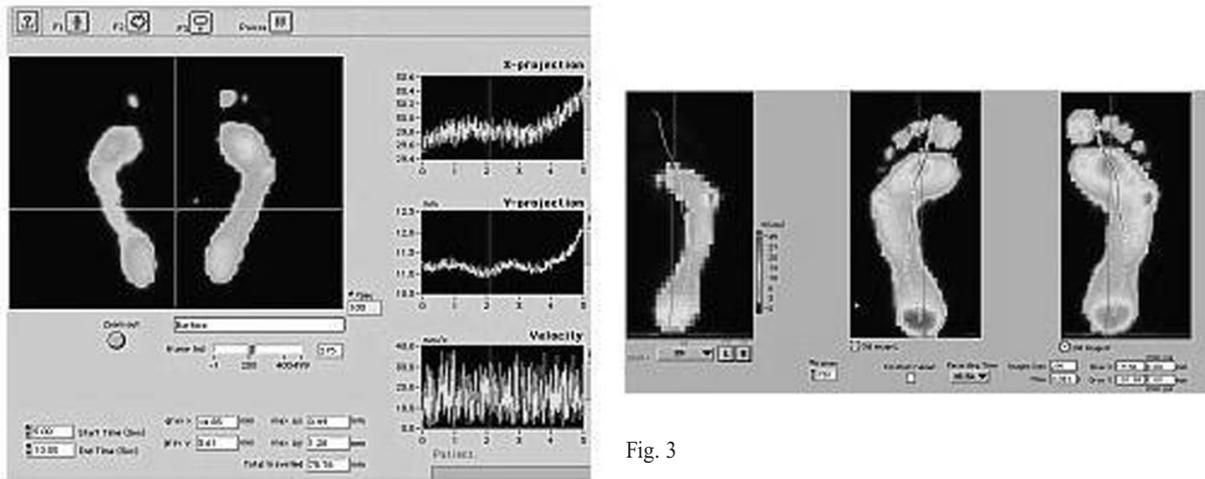


Fig. 3

Figure 2 et 3 : Quelques exemples d'informations recueillies par les systèmes de type «footscan»

sont différentes entre pied dominant et non dominant.

La vitesse de déplacement modifie les pressions plantaires; cette donnée sera incluse dans les protocoles, d'autant que ces variations diffèrent d'une région à l'autre du pied (21).

Certaines études, reproductibles (13, 22), ont démontré des relations entre pied pronateur et lésion des membres inférieurs, supinateur ou dévié (4, 23).

- Le système autorise une évaluation précise de la répartition corporelle du sportif au niveau de ses pieds (23). Une étude statique et dynamique facilite la comparaison par rapport aux données cliniques et à l'impression subjective des sportifs.

- une pronation dynamique excessive, responsable de certaines ERLLP (Exercice Related Lower Leg Pain) (4), souligne les éléments suivants :

- attaque par la portion médiane du talon,
- éversion plus importante, associée à une surcharge de la portion médiane de l'avant-pied et à une sollicitation latérale moins importante,
- premier contact métatarsien s'exerçant au niveau du 4<sup>ème</sup> plutôt que du 5<sup>ème</sup>,
- pic de pression moins important sous le 5<sup>ème</sup> métatarsien,
- rapport pression médiale / pression latérale augmenté,
- déplacement médial du COP (centre de poussée),
- éversion et déplacement en abduction plus grand à l'arrière,
- vitesse de ré-inversion plus élevée avec un déplacement latéral important de la 1<sup>ère</sup> articulation métatarsophalangienne.

Ces données, confirmées par l'étude des variables cinématiques, démontrent une surpronation avec vélocité accrue dans la population

pathologique. Cette pronation au cours de la réception du pas en course à pied permet de dissiper les contraintes de mise en charge. En effet, lorsque le pied s'éverse, il devient plus mobile, adapté à l'atténuation du choc au sol (4).

Chez les coureurs avec pronation exagérée, la transmission des forces vers la jambe augmente (4). L'attaque plus centrale du talon explique le retard de la pronation et une moindre absorption des chocs, la ré-inversion plus rapide avec déroulement du pas latéralisé impliquant une moindre stabilité de la cheville lors de la poussée finale.

Plusieurs études démontrent l'efficacité d'une contention, de semelles orthopédiques ou de chaussures antipronatrices :

- l'usage de capteurs au niveau de huit régions du pied apprécie correctement ce «foot unroll», avec certaines variabilités individuelles et certains schémas de déroulement beaucoup moins fréquents (24);

- un pied creux développe des pressions plus importantes sous le talon et l'avant-pied; la réduction, (voire l'absence), de mise en charge du médio-pied autorise une dispersion plus faible des forces et entraîne un risque lésionnel accru (11);

- une pression plus importante sous la tête du second métatarsien peut provoquer des métatarsalgies, voire des fractures de stress à ce niveau (11);

- les «rear foot strikers» (contact initial par le bord postéro-latéral) présentent un contact plus prolongé au sol que les «mid foot strikers» (par le bord médio-latéral). Ils démontrent également un pic initial de pression au sol plus important. On note des différences importantes dans le mouvement du centre de poussée entre ces deux familles de coureurs;

Une étude menée par Van Gheluwe et al. (25) apprécie les modifications de pression plantaires par rapport à l'application d'un coin supinateur ou pronateur à l'avant- ou à l'arrière-pied. L'augmentation du varus augmente le pic de pression et la charge maximale sur les portions latérales du médio- et de l'arrière-pied, tandis que le valgus augmente le pic de pression et la charge maximale sur la portion latérale de l'avant- et de l'arrière-pied. Le centre de poussée se déplace médialement avec la varisation et latéralement avec sa valgisation. Cependant, ces modifications sont moins importantes que celles rencontrées en terme de pression. Lorsque les modifications touchent une seule portion du pied (avant ou arrière), elles n'influencent la pression que sur cette région (20).

La mesure de pression plantaire peut constituer une donnée importante chez des patients présentant une atteinte plantaire spécifique (21).

Les anomalies de la démarche sont souvent liées à une anomalie de la répartition de la pression plantaire, ce qui justifie son étude pour évaluer l'efficacité d'un traitement (chirurgie, orthèse, plâtre de marche), détection d'instabilité de la cheville et fasciite plantaire, et prédiction de la formation d'ulcères diabétiques (26).

La répartition dynamique des pressions plantaires apprécie l'éventuelle progression d'une pathologie, voire l'efficacité d'un traitement (chirurgie, chaussage, orthèses). Il apparaît intéressant d'évaluer de façon objective la démarche de sujets atteints de lésions neurologiques (IMC, AVC,...) et présentant notamment des déformations en varus et valgus (27). Une documentation objective d'anomalie dynamique du pied ainsi que l'efficacité du traitement, peut être obtenue à partir de techniques de mesures de pression au sol.

Les études de pressions plantaires qui concernent les diabétiques et leurs troubles trophiques sont en rapport direct avec la pression générée sur leurs appuis plantaires (21). L'étude de la variation de la pression plantaire en fonction de la vitesse de déambulation notamment pourrait mieux estimer la pression seuil et, donc, la vitesse à laquelle un diabétique pourrait marcher avant l'apparition d'ulcère.

Ce système apprécie les anomalies de la marche dans le décours d'intervention chirurgicale après rupture du tendon d'Achille (27). Un déficit de pression au niveau de l'avant-pied du côté opéré, associé à une faiblesse musculaire en flexion plantaire de cheville, ainsi qu'à une majoration de la pression au niveau du talon, pourraient expliquer une partie des douleurs.

En conclusion, l'examen podologique classique apparaît suffisant chez le sédentaire; par contre, les mesures dynamiques de pressions plantaires s'imposent progressivement en micro-traumatologie sportive, en rapport direct avec la charge liée aux chocs et, donc, aux risques lésionnels. Ces appareils sont également utilisés pour apprécier diverses pathologies orthopédiques et vasculaires.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Bruns W, Maffulli N.— Lower limb injuries in children in sports. *Clin Sports Med*, 2000, **19**, 637-661.
2. Wilder RP, Sethi S.— Overuse injuries : tendinopathies, stress fractures, compartment syndrome, and shin splints. *Clin Sports Med*, 2004, **23**, 55-81.

3. Maffulli N, Wong J, Almekinders LC.— Types and epidemiology of tendinopathy. *Clin Sports Med*, 2003, **22**, 675-692.
4. Willems TM, De Clercq D, Delbaere K, et al.— A prospective study of gait related risk factors for exercise-related lower leg pain. *Gait Posture*, 2006, **23**, 91-98.
5. Croisier JL.— Factors associated with recurrent hamstring injuries. *Sports Med*, 2004, **34**, 681-695.
6. Goldcher A.— *Podologie du sport*. Masson, Paris, 2002, **42**.
7. Yates B, White S.— The incidence and risk factors in the development of medial tibial stress syndrome among naval recruits. *Am J Sports Med*, 2004, **32**, 772-780.
8. Beck BR.— Tibial stress injuries. An aetiological review for the purposes of guiding management. *Sports Med*, 1998, **26**, 265-279.
9. Frey C.— Footwear and stress fractures. *Clin Sports Med*, 1997, **16**, 249-257.
10. Pirnay L, Crielaard JM.— Les fractures de fatigue chez le sportif. *Rev Med Liege*, 2001, **56**, 369-374.
11. Thordarson DB.— Running biomechanics. *Clin Sports Med*, 1997, **16**, 239, 247.
12. Ounpuu S.— The biomechanics of walking and running. *Clin Sports Med*, 1994, **13**, 843-863.
13. Murphy DF, Beynnon BD, Michelson JD, et al.— Efficacy of plantar loading parameters during gait in terms of reliability, variability, effect of gender and relationship between contact area and plantar pressure. *Foot Ankle Int*, 2005, **26**, 171-179.
14. Imamura M, Imamura ST, Salomao O, et al.— Pedobarometric evaluation of the normal adult male foot. *Foot Ankle Int*, 2002, 804-810.
15. Duckworth T, Betts RP, Franks C, et al.— The measurement of pressures under the foot. *Foot Ankle*, 1982, **3**, 130-141.
16. Alexander IJ, Chao EYS, Jonhson KA.— The assessment of dynamic foot to ground contact forces and plantar pressure distribution : A review of the evolution of current techniques and clinical applications. *Foot Ankle*, 1990, **11**, 152-167.
17. Cavanagh PR, Rodgers MM, Liboshi A.— Pressure distribution under symptom free feet during barefoot standing. *Foot Ankle*, 1987, **7**, 262-276.
18. Hughes J, Clark P, Linge K, et al.— A comparison of two studies of the pressure distribution under the feet of normal subjects using different equipment. *Foot Ankle*, 1993, **14**, 514-519.
19. Adams HB, Blasko GA, DiDomenico LA.— An unusual case of bilaterally symmetrical neuropathic osteoarthropathy of the midfoot as a result of Lyme disease-induced peripheral neuropathy : A case report. *Foot Ankle*, 2002, **23**, 155-157.
20. van der Leeden M, Dekker JHM, Siemonsma PC, et al.— Reproducibility of plantar pressure measurements in patients with chronic arthritis : A comparison of one-step, two-step, and three-step protocols and an estimate of the number of measurements required. *Foot Ankle Int*, 2004, **25**, 739-744.
21. Segal A, Rohr E, Orendurff M, et al.— The effect of walking speed on peak plantar pressure. *Foot Ankle Int*, 2004, **25**, 927-933.
22. Kernozek TW, Lamott EE, Dancisak MJ.— Reliability of an inshoe pressure measurement system during treadmill walking. *Foot Ankle Int*, 1996, **17**, 204-209.
23. Schon LC, Edwards WHB, McGuigan FX, et al.— Pedobarographic and musculoskeletal examination of collegiate dancers in relevé. *Foot Ankle Int*, 2002, **23**, 641-646.
24. De Cock A, De Clercq D, Willems T, et al.— Normative data for temporal parameters and patterns of foot unroll during barefoot running. *Abstract Book of the ESMAC Congress*, Leuven, 2002.
25. Van Gheluwe B, Dananberg HJ.— Changes in plantar foot pressure with in-shoe varus or valgus wedging. *J Am Podiatr Med Assoc*, 2004, **94**, 1-11.
26. Chang CH, Miller F, Schuyler J.— Dynamic pedobarograph in evaluation of varus and valgus foot deformities. *J Pediatr Orthop*, 2002, **22**, 813-818.
27. Costa ML, Kay D, Donell ST.— Gait abnormalities following rupture of the tendo Achillis. A pedobarographic assessment. *J Bone Joint Surg*, 2005, **87-B**, 1085-1088

Les demandes de tirés à part sont à adresser au Docteur P. Close, Service de Médecine de l'Appareil Locomoteur, CHU Sart Tilman – B35 4000 Liège, Belgique  
email : pierre.close@hotmail.com