

L'OBSERVATOIRE
DU MOUVEMENT

LETTRE D'INFORMATION (3 numéros par an)

avril 2004

N°11

Editorial

La déambulation est une activité complexe qui intéresse non seulement les articulations du membre inférieur mais la totalité du corps. La marche normale dépend d'un juste équilibre entre plusieurs facteurs :

- la résistance du squelette du membre inférieur,
- l'intégrité des articulations du pied, de la cheville, du genou, de la hanche, de la colonne vertébrale et du membre supérieur,
- de la valeur fonctionnelle des structures tendino-musculaires,
- des différents constituants du système nerveux périphérique et central, des mécanismes réflexes, des centres de coordination du mouvement et de leur régulation volontaire,
- de l'état général du sujet, de son équilibre, de ses motivations.

La marche est une succession de mouvements cycliques répétitifs avec des déplacements s'effectuant dans les 3 plans de l'espace, avec une consommation énergétique minimum.

Toutes les atteintes des structures ostéo-articulaires, musculaires, neurologiques, périphériques ou centrales vont retentir sur la marche avec mise en œuvre de mécanismes compensateurs.

L'analyse de la marche a fait l'objet de très nombreux travaux et les méthodes se sont diversifiées au fur et à mesure du développement des technologies. La plupart de ces techniques sont encore complexes du domaine du laboratoire et peu utilisées par le clinicien.

Le développement des méthodes ambulatoires rend plus accessible au clinicien ces techniques d'évaluation qualitatives et quantitatives de la marche normale et de ses troubles, et permet d'orienter et d'évaluer la prise en charge thérapeutique.

Christian Mansat

LA MARCHÉ

SOMMAIRE	Editorial : Ch. Mansat	1	La marche. Méthodes de laboratoire : Y. Mohammad, E.M. Laasse	6
	Historique	1	Sémiologie clinique des différentes marches pathologiques chez l'enfant : P. Lebarbier	7
	Le cycle de la marche normale : R. Damana	2	Locomotrix® : pour une mesure ambulatoire quantifiée de la qualité de la marche : B. Auvinet, E. Barrey	8
	Evaluation clinique de la marche : quels outils pour le kinésithérapeute ? : J. Bergeau	3	Le pied du marcheur de grand fond : Paris/Colmar, une légende en marche ! : Cl. Huertas	11
	Mesure de la locomotion par une méthode accélérométrique : E. Barrey	3	Opinion : Ch. mansat	12
	L'analyse quantifiée de la marche en application clinique : B. Dohin	4	Brèves, bibliographies	3, 5, 7
	Apport de l'évaluation de la marche chez des patients déprimés : T. Hergueta, F. Delgado, D. Schoëvaert, Y. Lecrubier	5		

Historique

Sous l'Antiquité, Gallien publie *De motu muscularum* ; il est considéré comme le père de la médecine du sport. La renaissance révolutionne ce domaine de la connaissance : Borelli fut le premier à appliquer aux êtres vivants les lois mécaniques découvertes par Galilée « *De motu animalium*, 1685 » ; il est considéré comme le fondateur de la biomécanique.

Une autre étape majeure survient au XIX^{ème} siècle :

■ Muybridge réalise la première mesure du mouvement grâce à des séquences photographiques de chevaux à différentes allures « *The horse in motion*, 1882 » ;

■ Jules-Etienne MAREY crée le premier laboratoire de biomécanique (la station physiologique) et pose les principes fondamentaux de l'analyse quantifiée de la locomotion.

Jules-Etienne MAREY décrit la complémentarité des analyses cinétiques et dynamiques : lors d'une communication à l'Académie des Sciences, Marey et Demyen écrivaient, dès 1885, en parlant du saut de pied ferme : « L'intelligence de ce mécanisme suppose à la fois la notion de cinématique et la notion de dynamique du saut, c'est-à-dire la connaissance du mouvement et celle des forces d'action ». A partir des années 70 les connaissances sur la physiologie de la marche, se sont diversifiées en relation avec les évolutions techniques.

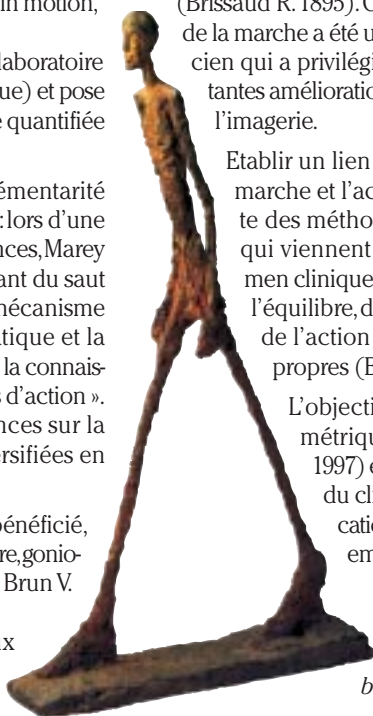
Toutes les méthodes d'analyse en ont bénéficié, cinématique, accélérométrie, dynamomètre, gonio-métrie, électromyographie (Pélissier J., Brun V. 1994)

La physiologie de la marche est mieux connue (Grossiord A. 1981, Gras P. 1996)

La sémiologie clinique des troubles de la marche a été étudiée en rhumatologie, en orthopédie (Ducroquet E. 1965, Nater B. 1997) et en neurologie (Brissaud R. 1895). Cette analyse sémiologique de la marche a été un peu délaissée par le clinicien qui a privilégié compte tenu des importantes améliorations des diverses techniques, l'imagerie.

Etablir un lien entre la physiologie de la marche et l'activité du clinicien nécessite des méthodes ambulatoires simples qui viennent en complément de l'examen clinique pour juger d'un trouble de l'équilibre, d'un défaut de locomotion, de l'action des différents traitements propres (Bessou P., 1988).

L'objectif des méthodes accélérométriques (Auvinet B., Barrey E. 1997) est de mettre à la disposition du clinicien un outil de quantification ambulatoire pouvant être employé en routine.



Homme qui marche, bronze d'Alberto Giacometti

Le cycle de la marche normale

S'ils n'étaient utilisés que pour marcher, les membres inférieurs seraient de conception moins complexe et la locomotion serait une fonction cinématique plus simple. Mais ils offrent un nombre infini de modes de déplacements au corps humain comme l'escalade, la course ou la reptation et pour rendre disponibles toutes ces options simultanément, leur conception a dû être très sophistiquée. La locomotion, si elle n'utilise qu'une partie des possibilités offertes par le système doit cependant l'utiliser avec sa complexité.

La locomotion est organisée en cycles de mouvements des membres inférieurs, ces cycles sont reproductibles et symétriques. À l'intérieur de ces cycles, les mouvements relatifs des différentes composantes bassin, fémurs, tibias, pieds sont également reproductibles et symétriques. La description du cycle de marche peut s'arrêter aux seuls membres inférieurs mais les membres supérieurs et la ceinture scapulaire ont également des mouvements, combinés avec ceux des membres inférieurs, cycliques et symétriques aussi.

Le cycle de marche correspond spatialement à une enjambée ou 2 pas ; selon son activité, un individu en produit quotidiennement entre 4100 et 5800 [2]. Sa description peut présenter des différences de détails selon les auteurs mais elle tend aujourd'hui vers une définition unique admise par tous. Par convention, le cycle de marche normale débute lorsque le talon d'un pied se pose et se termine lorsque ce même talon se pose à nouveau de manière consécutive sur le sol ; il comprend deux phases essentielles qui sont la phase d'appui et la phase oscillante, il dure environ 1 seconde (figure 1).

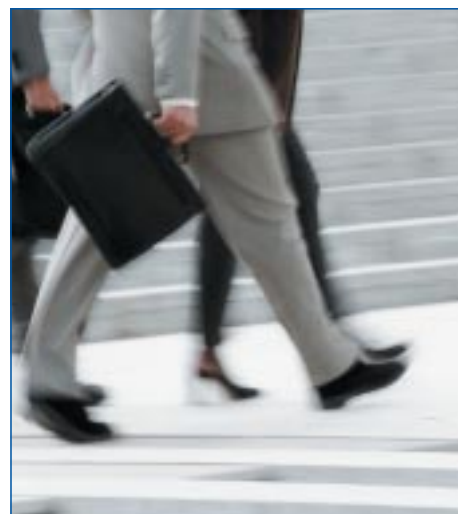
La phase d'appui dure 60% du cycle et comprend trois sous-phases :

■ **le double appui de réception** qui dure 10% du cycle. Les deux pieds sont en contact avec le sol, le pied qui atterrit se pose entièrement pendant que le pied contre-latéral quitte progressivement le sol. C'est pendant cette période que s'effectue le transfert du poids du corps augmenté de l'effet dynamique, du pied d'appui contre-latéral vers le pied receveur. Celui-ci est en rotation externe d'environ 10° par rapport à la direction de déplacement, la réception se produit sur le bord postéro-externe du talon. La cheville est d'abord en flexion neutre puis en flexion plantaire de 5°-10°, le genou et la hanche fléchissent pour amortir le choc, respectivement de 8-12° et 3-5°. En quittant le sol par l'avant pied, le pied contre-latéral dirige le mouvement du corps vers l'avant et vers le côté ;

■ **la position plantigrade** qui dure 40% du cycle et qui intervient immédiatement après que ce transfert ait été accepté. Un seul pied est en contact avec le sol, le corps qui était en arrière du pied receveur progresse vers l'avant du fait

de la force inertielle produite par la masse et la vitesse du sujet. Le pied est alors en rotation externe de 5-10°, le tibia franchit la verticale, se rabat sur le pied pour créer une flexion dorsale de 10° environ, le genou et la hanche sont parvenus en extension. Le membre contre-latéral effectue son passage vers l'avant, son mouvement pendulaire induit une force inertielle de lévitation qui réduit l'effort exercé par le pied porteur sur le sol d'environ 20% du poids du corps ;

■ **le double appui de propulsion** qui dure 10% du cycle, les deux pieds sont à nouveau simultanément en contact avec le sol, le pied porteur pousse en arrière et latéralement pour faire progresser le corps vers l'avant et vers le pied contre-latéral qui devient receveur. Cette poussée se produit en même temps qu'un pivotement sur la première tête métatarsienne ; il en découle un début de flexion plantaire et de rotation externe du pied qui seront maximales en début de phase oscillante. Le genou est en extension (5-10°), la hanche est également en extension, voire en hyper-extension (-5 à -10°). Le pied contre-latéral se pose sur le talon. Certains auteurs [1] intègrent ici l'initialisation de l'oscillation en tant que quatrième sous-phase de la phase d'appui.



La phase oscillante dure 40% du cycle et peut aussi être divisée en trois sous-phases non représentées sur la figure 1 :

■ **l'oscillation initiale**, le pied est décollé du sol, il est en rotation externe maximale (environ 20°), la cheville est en flexion plantaire maximale (10-20°), le genou est en flexion maximale (60-70°), la hanche fléchit. Le membre oscillant va croiser le membre porteur ;

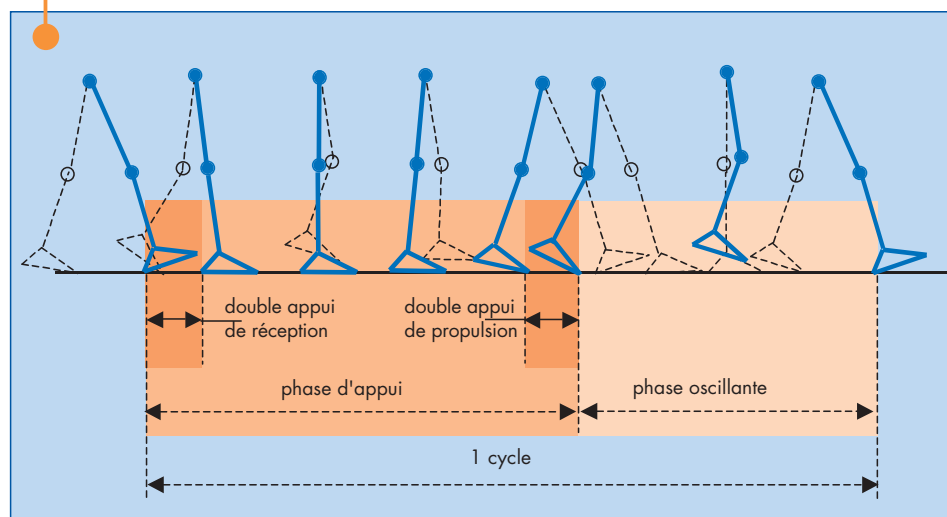
■ **l'oscillation intermédiaire**, le pied tourne vers l'intérieur, la cheville réduit sa flexion plantaire, le genou débute une extension, la hanche tend vers sa flexion maximale. Le membre oscillant croise le membre porteur ;

■ **l'oscillation terminale**, le pied est en légère rotation externe (environ 10°), la cheville est en flexion neutre, le genou tend vers l'extension maximale, la hanche a atteint sa flexion maximale (30°). Le membre oscillant se pose sur le sol.

Le cycle est terminé, le suivant commence.

● R. Darmana
INSERM U455, Hôpital Purpan,
31052 Toulouse cedex 03

Figure 1 : représentation schématique du cycle de marche et de ses principales phases et sous-phases



Evaluation clinique de la marche : quels outils pour le kinésithérapeute ?

Pour l'examen de la marche, le kinésithérapeute a recours à :

1) **l'écoute** du patient : relaté spontané et interrogatoire pour rechercher des informations sur la quantité et la qualité de la marche au moment de la prescription de kinésithérapie

2) **l'observation** de la station debout, des transferts et de la marche du patient : observation de la posture et des mouvements lors de la marche spontanée et lors de la marche sur commande (sur piste de marche, en extérieur, dans les escaliers, ...). Mais comment transcrire cette information ? Si le kinésithérapeute veut décrire une attitude posturale particulière ou une boiterie à la marche de la manière la plus impartiale, une photo le fera toujours mieux qu'un texte (avec lequel il va soit énoncer des évidences, soit courir le risque d'écrire des bêtises). Certains appareils photo numériques permettent également d'enregistrer des séquences vidéo courtes. En outre, un long bilan écrit n'est pas attractif aux yeux du médecin ou du confrère kinésithérapeute qui poursuit le traitement : il ne sera pas lu. Même si ces photos ne sont pas toujours de grande qualité, elles atteignent leur but : attirer l'attention du médecin ou du confrère. Le bilan est aussi une publicité pour le professionnel de santé : il devient plus attrayant avec des photos, tant vis-à-vis du patient que du médecin ou du confrère. La photo peut être montrée en temps réel au patient pour qu'il compare d'une séance à une autre, vérifie l'évolution de sa marche et renforce ainsi sa motivation.

3) **la mesure** à l'aide de tests cliniques validés, ► ce qui permet de comparer les valeurs aux repères connus. La photo ou l'enregistrement vidéo numériques permettent une meilleure cotation que le simple examen visuel (le test pouvant être visualisé plusieurs fois) ; la performance avant l'intervention du kinésithérapeute (score initial) peut être comparée avec celle de fin de traitement (score final) pour décider en particulier de l'arrêt ou de la poursuite des séances de kinésithérapie.

4) **l'interprétation** des éléments cliniques pour formuler son **diagnostic kinésithérapique**. Un score fonctionnel global peut être utilisé pour « classer » le patient :

■ Bilan des incapacités du membre inférieur (Foot and ankle severity scale) de 0 (pas d'incapacité) à 6 (incapacité totale)

■ Catégories de déambulation (Functional Ambulation Categories) de 0 (non fonctionnelle) à 5 (parfaitement fonctionnelle)

● Jacques Bergeau,
Kinésithérapeute enseignant, Grenoble

Test cliniques

a. **mesures d'angles** grâce à un logiciel qui automatise les mesures sur image (par exemple le logiciel Imapix®).

b. Test des « **dix mètres de marche : nombre de pas** » (sujets jeunes allure rapide : 8-10 ; sujets âgés : 12-14 ; sujets pathologiques : 13-25).

c. Test des « **dix mètres de marche : chronométrage** » (hommes : 5-10 s, moyenne 7,6 s ; femmes : 6-12 s, moyenne 8 s).

d. Test « **up & go chronométré** », test d'équilibre, de pivotement et de rapidité (risque de chute si > 15 s)

e. Durée de l'« **appui unipodal** » sans appui, test d'équilibre (trouble si < 5 sec)

f. Test de « **Tinetti** », 13 items pour l'équilibre et 9 items pour la marche :

- Initiation de la marche, marche en ligne et virage,
- Hauteur, longueur, largeur, symétrie et régularité du pas,
- Stabilité du tronc (anomalies = risque de chute)

g. Test des « **six minutes de marche** », test d'endurance à l'effort

Hommes : distance en mètres parcourue en 6 minutes : $[7,57 \times \text{taille (cm)}] - [5,02 \times \text{âge}] - [1,76 \times \text{poids (kg)}] - 309$

Limite inférieure de la normale : distance calculée - 153 mètres

Femmes : distance en mètres parcourue en 6 minutes : $[2,11 \times \text{taille (cm)}] - [2,29 \times \text{poids (kg)}] - [5,78 \times \text{âge}] + 667$

Limite inférieure de la normale : distance calculée - 139 mètres

h. « **Vitesse de marche confortable** » hommes

60-69 ans : $1,59 \text{ m/s} \pm 0,24$;

femmes 60-69 ans : $1,44 \text{ m/s} \pm 0,25$;

hommes 70-79 ans : $1,38 \text{ m/s} \pm 0,23$;

femmes 70-79 ans : $1,21 \text{ m/s} \pm 0,26$.



Mesure de la locomotion par une méthode accélérométrique

Une technique de mesure du mouvement originale

Dès la fin du XIX^{ème} siècle, le physiologiste J.-E. MAREY avait établi les bases des deux types d'analyse de la locomotion humaine ou animale : l'analyse dynamique qui s'intéresse aux causes du mouvement (forces, moments, accélérations) et l'analyse cinématique qui décrit les caractéristiques du mouvement (trajectoires, angles articulaires). De nos jours, les méthodes cinématiques sont largement utilisées au laboratoire de biomécanique car elles sont très analytiques et descriptives. Par contre, leur mise en œuvre reste encore coûteuse et limitée dans leurs applications cliniques.

Pour envisager des applications pratiques et obtenir une information plus synthétique sur les mouvements locomoteurs, une méthode d'analyse dynamique qui utilise des capteurs d'accélérations fixés sur le corps a été mise au point à la Station de Génétique Quantitative et Appliquée (INRA Jouy). Lorsqu'une force agit sur un corps, elle provoque une variation de vitesse de ce dernier pendant un intervalle de temps : cette variation est par définition l'accélération. Ainsi, grâce à un capteur d'accélération placé à proximité du centre de gravité, il est possible de déterminer les forces qui soutiennent et propulsent le corps.

Les avantages de cette méthode sont nombreux :

■ elle est adaptée à la mesure ambulatoire dans des conditions normales d'activité du patient et de l'athlète,

■ elle peut s'appliquer à un grand nombre de sujets en raison de sa facilité d'emploi et de sa rapidité de mise en œuvre, elle est accessible à toutes les analyses de la locomotion, qu'elles soient animales ou humaines.

L'appareil d'analyse accélérométrique de la locomotion, initialement développé pour le cheval (Equimetrix®), est maintenant utilisé pour d'autres applications notamment dans le domaine médical et sportif. L'enregistrement de la locomotion d'un quadrupède équivaut pour notre système de mesure à enregistrer deux bipèdes synchronisés. Il était donc facile d'adapter la méthode pour analyser la marche et la course humaine (Locometrix®). Le développement de toutes ces applications, réalisées initialement au Département de Génétique Animale de l'INRA, a été confié sous licence exclusive à la Société CENTAURE METRIX, lauréate du concours du Ministère de la recherche et des technologies en 2001.

● Eric Barrey,
INRA

L'analyse quantifiée de la marche en application clinique.

Depuis plus d'un siècle l'homme s'est penché très attentivement sur son mode de locomotion préférentiel : la marche. Or cette activité, aussi banale qu'elle puisse paraître, est d'une grande complexité mécanique et dynamique.

Le médecin, dans sa pratique clinique, a décrit nombre de « marches » perturbées ou pathologiques, mais pressentant que ses yeux ne suffiraient pas à appréhender complètement la réalité des anomalies, il a cherché des outils pouvant l'aider dans l'analyse précise de la mécanique de la marche et de là du mouvement en général.

C'est la volonté et la nécessité de mieux comprendre la marche qui est à l'origine de l'évolution des outils d'aide à l'analyse du mouvement humain.

Aujourd'hui des systèmes dits « intégrés » d'analyse quantifiée du mouvement (AQM) sont à la disposition des chercheurs et des cliniciens. Ils associent : systèmes optoélectroniques, plates-formes de force, vidéo, électromyographie et parfois dispositifs de mesure de la consommation énergétique. Ces examens seront toujours couplés à un examen clinique et parfois à des questionnaires fonctionnels spécifiques des explorations menées.

Toutes les données recueillies (spatio-temporelles, cinématiques, cinétiques et de coût énergétique) permettent d'appréhender la globalité du mouvement au niveau du système effecteur qu'est le système musculo-squelettique. Quelles peuvent être les applications des outils sophistiqués dont dispose actuellement le médecin et à quels objectifs peuvent ils répondre ? La première application est la compréhension du mouvement et ce sont les applications chez l'individu sain. La seconde est l'analyse des répercussions d'une maladie sur le mouvement. La troisième est d'évaluer les conséquences d'un traitement soit en simulant celui-ci (par exemple dans le cas d'un projet chirurgical) soit en analysant les effets du traitement. Enfin, ce peut être l'évaluation des thérapies réalisées afin d'en comparer les résultats et d'en mesurer l'efficacité.

C'est le physiologiste ou le médecin qui peuvent utiliser ces outils afin d'aller plus avant dans la compréhension du mouvement humain. Il est souvent aidé par un ingénieur, capable de faire fonctionner et évoluer pour lui ces machines complexes que sont devenues les systèmes optoélectroniques intégrés.

Chez l'adulte les études menées concernent, la marche normale et la marche perturbée (par des obstacles, par des conditions inhabituelles : port de chaussures, de charges sur le dos, grossesse...).

La marche du sujet âgé est l'objet de nombreux

travaux. En effet, l'altération des capacités sensorielles et motrices lors du vieillissement et les pathologies associées perturbent la marche et le mouvement.

A l'autre extrémité de la vie, la maturation neurologique et motrice de l'enfant demande du temps. On sait aujourd'hui un peu mieux grâce à l'AQM, comment évolue l'acquisition de la marche chez l'enfant, quelle est l'influence de sa maturation neurologique et celle de sa progression vers la morphologie adulte.

Le comportement du corps humain dans son environnement est étudié afin d'optimiser la conception des instruments qu'il utilise. Par exemple, les études de chocs en automobile réalisées par l'INRETS, bénéficient de l'utilisation de système d'analyse du mouvement.

Le sport enfin, à l'heure où il faut optimiser au maximum le geste ou en réduire le risque, est un vaste champ d'études du mouvement dans nombre de disciplines.

Profitant de la meilleure connaissance du mouvement normal, l'analyse du mouvement dans les situations pathologiques prend un autre intérêt. Les perturbations du mouvement aident à comprendre certains mécanismes physiopathologiques primaires ou secondaires.

Les pathologies du système nerveux et sensoriel sont évidemment concernées au premier plan. Chez l'adulte ce sont les séquelles d'accidents neurologiques vasculaires ou traumatiques, centraux ou périphériques, mais aussi les pathologies dégénératives ou héréditaires (maladie de Parkinson, sclérose en plaque, neuropathies périphériques, myopathies...). Chez l'enfant ce sont les pathologies neuro-musculaires (infirmité motrice cérébrale, myopathies, myéloméningocèles, neuropathies...) (fig. 1). Si la marche a été (et est encore) largement étudiée, les atteintes du membre supérieur sont de plus en plus l'objet d'explorations, en partie à cause de l'amélioration des performances des systèmes.

Figure 1 : Patient IMC diplégique préparé pour un enregistrement par système intégré avec EMG de surface.

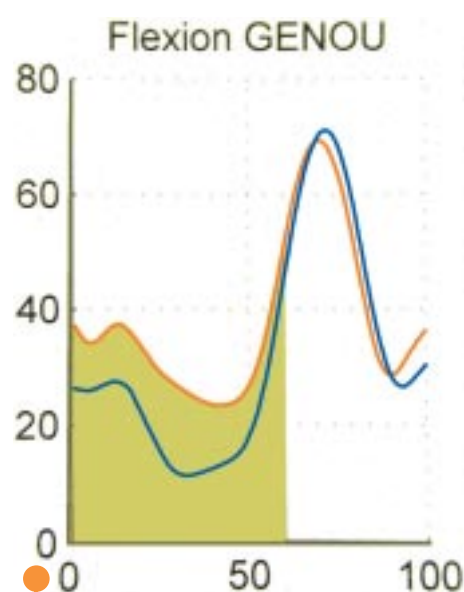
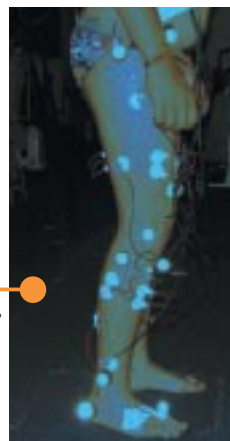


Figure 2: Exemple de courbe de cinématique objectivant l'action de la toxine botulique sur la flexion-extension du Genou (en bleu la courbe après injection).

L'appareil ostéo-articulaire et ses pathologies représentent la seconde grande indication d'AQM. Chez l'adulte ce sont les pathologies dégénératives et inflammatoires (arthrose, polyarthrite...) mais aussi la traumatologie osseuse ou ligamentaire, de l'adulte jeune (voire du sportif) ou du sujet âgé, enfin les amputations. Chez l'enfant ce sont les anomalies congénitales (malformations des membres inférieurs, pied bot varus équin...), les troubles statiques (déformations des pieds, inégalités de longueur des membres inférieurs, déviations axiales des membres...), enfin les déviations vertébrales (scoliose...).

L'AQM est aussi un outil d'aide à la décision médicale. En matière de traitement chirurgical, la simulation de gestes chirurgicaux par des blocs nerveux, des injections de toxine ou des orthèses peut aider à préciser l'indication d'un geste chirurgical définitif.

Enfin, à l'heure où les pratiques médicales se doivent de faire la preuve de leur efficacité, les systèmes d'AQM deviennent des instruments d'évaluation : évaluation de traitements médicaux (maladie de Parkinson, toxine botulique dans la spasticité ou les dystonies) (fig. 2), évaluation des traitements par rééducation, des programmes d'entraînement (thérapeutiques ou préventifs) pour les pathologies neurologiques, et les pathologies dégénératives de l'appareil locomoteurs (arthrose, polyarthrite...). De même des prothèses ou des orthèses peuvent être évaluées et améliorées (amputés, infirmes moteurs, scoliose...).

L'évaluation du résultat de traitements chirurgicaux est également une indication fréquente.

te : en orthopédie adulte (prothèse de hanche ou de genou, ligamentoplasties, ostéosynthèse de fracture ou résection tumorale des membres), en orthopédie pédiatrique (chirurgie multistages de l'infirme moteur cérébral, chirurgie des pathologies congénitales : pied bot varus équin, luxation congénitale de hanche ou chirurgie de la scoliose...) ; ou en neurochirurgie, (chirurgie de la maladie de Parkinson, rhizotomies...).

L'AQM a donc pris une place de taille dans la pratique médicale et est probablement appelée à la renforcer. Les prochaines années verront probablement se préciser les indications de pratique clinique courante. L'accès aux laboratoires sera alors certainement difficile car ces techniques demandent du temps pour leur réalisation et leur interprétation. La constitution d'équipes performantes (médecins et ingénieurs) est nécessaire à court terme pour que ces futures unités d'application clinique fonctionnent normalement.

L'interprétation efficace des données nécessite une solide formation en biomécanique. La manipulation de ces machines impose la collaboration d'ingénieurs motivés par les applications cliniques et acceptant leurs contraintes. Un travail important reste à faire pour faciliter la lisibilité des résultats par le clinicien non spécialiste et pour sélectionner les données utiles en application clinique. Les voies de développement futures sont certainement l'AQM du membre supérieur et du rachis, mais il reste encore beaucoup à faire dans les premiers domaines d'application.

● Dr Bruno Dohin,

Service de chirurgie orthopédique
pédiatrique Pr R. Kohler, Hôpital Ed. Herriot,
Lyon 69437 cedex 03. Laboratoire de
biomécanique et de modélisation humaine,
LRE32, Université Claude Bernard Lyon.

La marche en chiffres

- Alternance de phase d'appui (60%) et de phase oscillante (40%)
- Longueur des pas en moyenne 1,40 (demi-pas 70 cm)
- Vitesse de marche entre 2 et 7 km/heure, elle diminue avec l'âge
 - moyenne 10 secondes pour 10 mètres
 - 110 pas par minute
 - 80 m par minute
- Consommation d'oxygène 10ml/kg/minute
 - décubitus 3,5 ml/kg/minute
 - station debout 5 ml/kg/minute
- La dépense énergétique aérobie de l'ordre de 5Kcal/minute pour une vitesse de 5 km/heure. L'équivalent calorique d'un litre d'oxygène consommé est de 5Kcal
- 1 heure de marche 300 Kcal
la course entre 12 et 25 Kcal/minute
travail pénible entre 5 et 20 Kcal/minute

Apport de l'évaluation de la marche chez des patients déprimés

Depuis l'antiquité, on sait que l'équilibre psychomoteur est perturbé au cours des troubles psychiatriques. Dans la dépression, on observe un ralentissement global. Il est utile de pouvoir quantifier objectivement ces modifications motrices et de pouvoir les suivre sous traitements. La marche semble être un bon modèle car elle est cliniquement modifiée lors d'un Episode dépressif, elle est liée à l'évolution des systèmes nerveux et musculo-squelettique, elle peut être étudiée à différents niveaux du système nerveux central, elle est modulée par le système monoaminergique, elle est bien étudiée sur le plan physiologique. Sloman et Lemke, plus récemment, ont confirmé, à l'aide de méthodes complexes que la marche était significativement modifiée au cours d'un Episode dépressif. Nous avons montré, à l'aide d'un analyseur mono-caméra, ne nécessitant la pause d'aucun matériel, chez des patients hospitalisés présentant un Episode dépressif, filmés « à l'insu », à « vitesse normale » et à « vitesse rapide » que tous les paramètres étudiés étaient significativement modifiés quelles que soient les modalités d'enregistrement. La vitesse et la longueur du pas étaient, en moyenne, réduites d'environ 20%. Nous avons par ailleurs mis en évidence une évolution hétérogène de ces paramètres après 3 semaines de traitement par antidépresseur avec une tendance à la normalisation de la vitesse et une longueur du pas qui restait, elle, strictement inchangée, plus courte d'environ 15 % par rapport aux témoins. L'analyse de la marche permet de progresser dans l'étude de la physiopathologie de la dépression, mais peut aussi contribuer au suivi clinique des patients, en particulier chez ceux présentant des formes récidivantes et à l'évaluation des nouveaux traitements.

● T. Hergueta, F. Delgado, D. Schoëvaert,
Y. Lecrubier, Hôpital de la Salpêtrière, Paris



LE SITE

L'OBSERVATOIRE
DU MOUVEMENT



www.observatoire-du-mouvement.com

Analyse de la marche humaine dans la pratique hospitalière par une méthode accélérométrique

B. Auvinet — D. Chaleil — E. Barrey, Revue Rhumatologie 1999, 66 (7-9), 445 — 457

Ce travail fait le point sur les différentes méthodes d'analyse de la marche :

- analyse cinésiologique, qui fait appel à l'électromyographie, permet de comprendre les actions musculaires au cours de la marche.
- Analyse cinématique qui utilise des enregistrements vidéos et des systèmes opto-électronique, informent sur la biomécanique des mouvements. Le locomètre de Paul Bessou est bien adapté à l'étude de la marche,
- Analyse cinétique qui fait une étude des forces qui interviennent dans le mouvement. Il existe plusieurs appareils de mesure, les semelles baro-podométriques, les plates-formes de forces et les accéléromètres,
- Les avantages de cette dernière méthode sont exposés avec des études comparatives dans une population témoin et pathologique.

Runners's stride analysis : comparaison of Kinematic and Kinetic analysis under field conditions

B. Auvinet et Coll., Science et Sport 2002, 17- 92 - 94

Cette étude a pour but d'objectiver chez 7 athlètes la correspondance entre l'enregistrement cinématographique de la course et le signal d'accélération avec le système locométrix. Cette technique qui mérite d'être développée apporte des informations utiles à l'athlète et à son entraîneur sur l'efficacité de sa foulée.



La marche

Méthodes de laboratoire

L'analyse quantifiée de la marche (AQM) est un examen complémentaire permettant d'enregistrer les données cinématiques, cinétiques et électromyographiques.

Les dimensions idéales de la salle d'examen sont 14 mètres de long par 7 mètres de large. Le patient doit atteindre sa vitesse de croisière avant d'arriver à la zone d'enregistrement, située au milieu, et s'arrêter sans être obligé de freiner.

La réalisation de cet examen nécessite un équipement sophistiqué :

- Systèmes de caméra vidéo et magnétoscope permettant l'enregistrement du déplacement de face, profil et dessus de façon simultanée avec visualisation au ralenti ou arrêt sur image.
- Système d'analyse du mouvement en 3 dimensions dont le principe repose sur l'utilisation de marqueurs rétro-réfléchissants positionnés sur des repères anatomiques précis et filmés à l'aide de caméras infra-rouges (Fig. 1). Le déplacement des marqueurs sera reconstruit en 3 dimensions permettant, à l'aide d'un logi-



Fig. 1

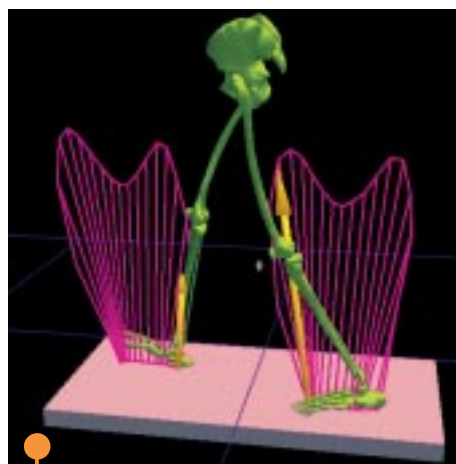


Fig. 3 : Kinégramme avec le déroulement des appuis sur la plate-forme de force

ciel d'animation, de reproduire le déplacement des différents segments corporels (Fig. 2).

- Les plate-formes de forces mesurent les 3 composantes de la force d'appui ainsi que le couple de cette force par rapport au centre de la plate-forme (fig. 3)

- Le système d'enregistrement EMG permet d'enregistrer à l'aide d'électrodes de surface l'activité électrique des muscles, leur période de contraction rapportée au cycle de marche (Fig. 4).

À l'issue de l'examen, le logiciel Polygon (Vicon – Oxford Metrics) permet de fournir sur CD l'ensemble des résultats : l'enregistrement vidéo, le kinégramme, les paramètres spatiaux temporels, cinématiques, cinétiques et les tracés EMG.

Ces méthodes ont leurs limites qu'il faut également connaître.

Limites liées au matériel

■ Calcul des coordonnées 3D

Le calcul des coordonnées 3D des marqueurs nécessite que chaque marqueur soit « vu » par au moins 2 caméras. L'utilisation d'aides de marche (déambulateur, tierce personne, ...) risque de masquer les marqueurs et ne permet pas

le calcul précis des paramètres cinématiques.

■ Mesure des forces d'appui et calcul des paramètres cinétiques

Les dimensions des plate-formes de forces sont habituellement choisies en fonction du type de patient à analyser (adulte ou enfant). Il faut obtenir un appui monopodal sur chacune des plate-formes de forces. L'utilisation d'aides de marche fausse l'enregistrement des forces d'appui. L'absence de mesures des forces d'appui ne permet pas le calcul des paramètres cinétiques (moments, puissances).

■ Enregistrement EMG

Les électrodes habituellement utilisées sont des électrodes de surface qui présentent l'avantage d'être non invasives mais ne permettent d'enregistrer que les muscles superficiels. En plus, chez les petits patients, les risques de diaphonie ou « cross talk » sont fréquents et perturbent la qualité des enregistrements.

D'autres problèmes sont liés au modèle de calcul des centres articulaires et au nombre de marqueurs. Pour le pied par exemple, l'utilisation de 3 marqueurs ne permet pas de caractériser les mouvements du pied dans les 3 plans ou même dans le plan sagittal où la mesure peut-être faussée par la cassure située au niveau de l'articulation tarso-métatarsienne.

Limites liées au patient

Chez l'enfant trop jeune, non coopérant ou incapable de se déplacer sans aide le long du couloir de marche, les mesures non reproductibles ne peuvent documenter une évaluation quantitative fiable des paramètres de la marche.

Enfin, les mesures peuvent se révéler imprécises quand le repérage des points anatomiques est délicat ou quand le mouvement de la peau entraîne un déplacement important et non contrôlé des marqueurs (sujets obèses).

Malgré ces limites, ces systèmes d'analyse de la marche en 3 dimensions, toujours associés à l'examen clinique, ont permis d'accomplir des progrès incontestables dans la compréhension de la marche normale et de ses troubles.

Par exemple, une anomalie d'amplitude articulaire en phase oscillante peut avoir plusieurs causes : Raideur articulaire, rétraction ou activité musculaire anormale (clinique + cinématique + EMG).

En phase d'appui, les anomalies de positionnement des articulations adjacentes modifient la position du vecteur force par rapport au centre de rotation de l'articulation et peut entraîner un moment et un mouvement anormaux (cinétique).

Il s'agit également d'une méthode d'évaluation objective et reproductible qui aide à la décision thérapeutique et à l'évaluation des résultats.

● Y MOHAMMAD, Médecin MPR, E.M.
LAASSEL, Docteur Ingénieur
CRF BOIS LARRIS – 60260 LAMORLAYE

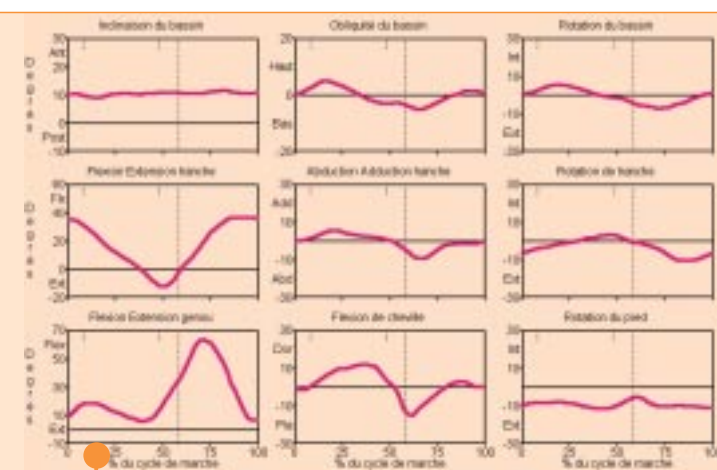
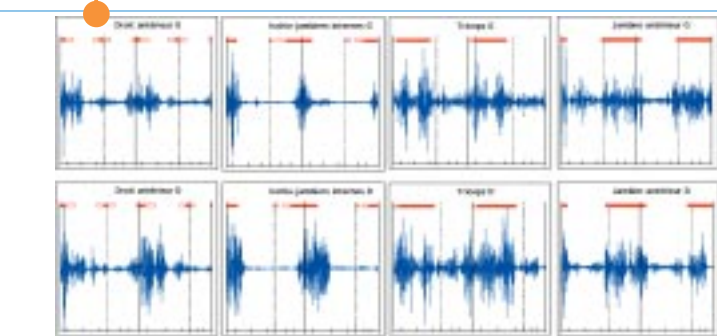


Fig. 2 : Cinématique normale

Fig. 4 : Tracé EMG, En rouge timing de contraction physiologique. Activité anormale des triceps en phase oscillante.



Sémiologie clinique des différentes marches pathologiques chez l'enfant

Les troubles de la marche, bénins ou sévères, sont des motifs fréquents de consultation en orthopédie pédiatrique. La sémiologie clinique des différentes marches pathologiques de l'enfant est caractérisée par deux types de signes :

- Des signes d'alerte non spécifiques, qui vont permettre d'affirmer la nature et l'importance du trouble de la marche
- Des signes cliniques, plus discrets, qu'il faut rechercher pour préciser la cause du trouble

Les signes cliniques d'alerte.

Ils sont au nombre de trois, souvent associés : la boiterie, la douleur et les déformations des membres. Ils doivent orienter vers une étiologie qui demande à être confirmée par des arguments cliniques retrouvés à l'examen

1. La boiterie. C'est le signe d'appel majeur que l'on ne peut décrire sans faire référence au livre de Ducroquet.

2. La douleur n'est pas un signe fréquent. Elle n'est jamais isolée et est le plus souvent un signe d'accompagnement des autres symptômes. On la retrouve dans les affections traumatiques, fracture de fatigue ou fracture minime entraînant une impotence fonctionnelle relative, dans les troubles de croissance, conséquences de la micro-traumatologie sportive, ou dans les épiphysiolyse aiguës de l'adolescent.

3. Les déformations. Elles peuvent être dynamiques ou fixées, toucher un membre ou les deux, siéger à la hanche, au genou ou à la cheville. Elles peuvent être primitives ou secondaires, adaptation sus ou sous jacentes de la déformation primitive. Elles peuvent siéger dans les trois plans de l'espace frontal, sagittal ou horizontal. On peut retrouver une hypo ou hypertrophie d'un membre ou d'un de segments, des flexums ou des recurvatus, des équins ou des talus, des valgus ou des varus et des troubles rotationnels qui se traduisent par des anomalies de position des genoux et des pieds. L'analyse de ces déformations, souvent associées, est complexe. Si l'examen clinique est capital dans ce domaine il sera complété efficacement par l'analyse quantifiée de la marche (A.Q.M.).

4. L'examen clinique. Il doit être rigoureux et méthodique pour préciser la cause du trouble de la marche : examen articulaire pour apprécier la mobilité et la stabilité des différentes articulations, examen vasculaire qui peut orienter vers certaines étiologies dans le cadre des inégalités de longueur, mais surtout examen neurologique étape obligatoire de tout bilan étiologique d'une anomalie de la marche d'un enfant.

Signes cliniques étiologiques.

Au terme de ce bilan clinique, plusieurs grandes étiologies peuvent être individualisées.

1. Les affections post-traumatiques. Les séquelles de traumatismes des membres inférieurs de l'enfant peuvent se traduire par une boiterie, conséquence d'une douleur transitoire ou d'une inégalité de longueur non compensée. Il faut individualiser la pathologie des apophyses observées dans le cadre de la pratique du sport qui peuvent entraîner une boiterie à cause de la douleur qu'elles peuvent engendrer : Osgood Schlatter, Sever, Kohler, etc.

2. Certaines affections orthopédiques peuvent entraîner des troubles de la marche au stade de début ou de séquelles.

- La synovite aiguë transitoire et l'ostéochondrite primitive de la hanche (OPH) commencent par une boiterie d'apparition brutale. La limitation de la rotation interne de la hanche est habituelle.

- L'épiphysiolyse survient chez le grand enfant et peut se traduire par une boiterie et une rotation externe du membre atteint, associées à une éventuelle douleur dans les formes aiguës.

- Les inégalités de longueur des membres inférieurs peuvent entraîner une boiterie quand leur valeur est importante. La bascule du bassin traduit le retentissement sus-jacent. Des signes cliniques spécifiques orienteront vers l'étiologie.

- Les anomalies de rotation des membres occupent une place importante dans les troubles de la marche de l'enfant. Il n'y a ici pas de douleur ni de boiterie mais des anomalies de position des genoux et/ou des pieds à la marche. L'exagération de l'antéversion fémorale (Coxa Antétorsa), banale chez le jeune enfant, se traduit par des pieds et des genoux en rotation interne. Dans la torsion tibiale interne isolée, seuls les pieds sont « en dedans ». Dans la « triple déformation » les genoux sont « en dedans » quand les pieds sont dans « l'axe » ou quand les pieds sont « en dehors ».

- Les rhumatismes inflammatoires et principalement l'arthrite chronique juvénile (ACJ) sont plus rares. Ils entraînent une boiterie associée à des signes inflammatoires des articulations atteintes.

3. Les affections neurologiques centrales ou périphériques se traduisent par des marches caractéristiques en fonction de l'étiologie. La

poliomyélite ne se voit presque plus en France. La myéloméningocèle est également moins fréquente. L'Infirmité Motrice Cérébrale (IMC) reste la cause la plus habituelle. L'hémiplégique et le diplégique ont une marche caractéristique bien connue des spécialistes. Là plus qu'ailleurs l'AQM est indispensable à l'analyse des déformations et aux choix thérapeutiques.

4. Les maladies neuro-musculaires, et en particulier les myopathies, se révèlent par une marche dandinante, une fatigabilité, et des chutes fréquentes.

Les troubles de la marche de l'enfant peuvent souvent être reconnus cliniquement. Les examens complémentaires seront surtout à visée étiologique. Il faut faire une place particulière à l'analyse quantifiée de la marche qui est un examen objectif, reproductible, indispensable pour comprendre des anomalies complexes des troubles de la locomotion.

● Dr. Pierre LEBARBIER
Centre Paul Dottin (ASEI)
Ramonville St-Agne



Huit critères d'analyse de la marche (E. Viel)

- Attitude pendant la marche
- Variabilité de la démarche
- Équilibre et pertes d'équilibre soudaines
- Netteté de la pose du talon au sol
- Extension de la hanche préservée ou non
- Synchronie entre le membre supérieur et inférieur
- Distance mesurée entre les pieds en appui
- Durée du double contact



Locometrix® : pour une mesure ambulatoire quantifiée de la qualité de la marche

La marche est une activité essentielle pour l'homme, dans la mesure où elle conditionne son indépendance. La dégradation de la marche est non seulement prédictive et symptomatique de situations à forte dépendance : démences non-Alzheimer, états dépressifs mais conduit parfois aussi le sujet âgé à la chute. C'est un problème de santé publique majeur par ses conséquences de morbidité et de mortalité, à l'échelon individuel, et de coût de santé publique, à l'échelon de la nation.

Les indices cliniques de la dégradation de la marche restent subjectifs, ce qui rend compte de l'importance des recherches entreprises pour mettre au point des outils d'analyse quantifiée de la marche, utilisables en pratique ambulatoire, non seulement par les cliniciens mais aussi par tous les intervenants impliqués dans la prise en charge des patients en situation de dégradation de la marche. Ceci nous amène à présenter le concept de qualité de la marche, évalué par une nouvelle chaîne de mesure : Locometrix®.

Locometrix® : une méthode d'analyse ambulatoire de la marche

Les méthodes d'analyse de la marche peuvent être regroupées en deux grandes catégories : cinématiques et dynamiques. Locometrix® est une méthode de nature dynamique, basée sur l'enregistrement des accélérations tri-axiales en région lombaire médiane (proche du centre de gravité de l'homme en position debout).



L'appareillage

Le capteur est composé de 3 accéléromètres disposés perpendiculairement. Ce capteur est appliqué en région lombaire médiane par l'intermédiaire d'une ceinture semi-élastique qui se fixe autour de la taille du sujet (Fig. 1). Les axes des capteurs sont cranio-caudal, antéro-postérieur et médio-latéral. Un boîtier d'enregistrement recueille les accélérations mesurées à la fréquence de 100 Hz. Les données, transférées sur un ordinateur, peuvent être analysées immédiatement ou transférées vers un serveur, via Internet, pour une analyse à distance.

Le test de marche

Le sujet effectue, dans un couloir rectiligne, à sa vitesse de confort, un aller et retour, sur une distance de 30 mètres. L'analyse porte sur 19 à 20 foulées de marche stabilisée. La vitesse de marche est mesurée au chronomètre.

Les courbes d'accélération

L'analyse du signal en fonction du temps reconstitue les courbes d'accélération cranio-caudale, médio-latérale et antéro-postérieure en relation avec les mouvements temporo-spatiaux de la marche. À partir de la courbe d'accélération

cranio-caudale, les événements remarquables de la marche sont bien identifiés : contact du talon, pied à plat (correspondant à la mise en charge maximale), décolllement du pied controlatéral, passage à la verticale, poussée à l'appui (Fig. 2). La courbe d'accélération médio-latérale sert à identifier le côté à l'appui.

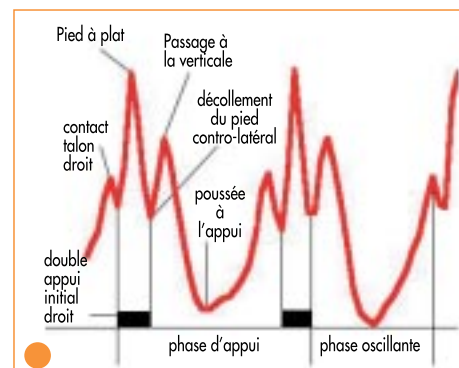


Fig. 2 : Accélérations lombaires instantanées

Variables mesurées

L'enregistrement des accélérations à proximité du centre de gravité apporte une information globale sur la résultante des mouvements et leur coordination qui aboutissent au déplacement du centre de gravité. La diversité des méthodes de traitement du signal fournit une information analytique sur les composantes principales de la marche.

Les variables mesurées sont les suivantes :

- Vitesse de marche,
- Fréquence des cycles de marche (cadence),
- Longueur des pas,
- Symétrie des demi-pas droit et gauche (indice de symétrie globale),
- Régularité temporo-spatiale des cycles de marche (elle exprime la variabilité de la marche),
- Déplacement vertical : c'est l'estimation des déplacements de la région lombaire entre les points les plus hauts et plus bas,
- Activités mécaniques selon les 3 axes. L'activité mécanique cranio-caudale mesure la bradykinésie du sujet (ralentissement du mouvement dans son amplitude et dans sa fréquence). Les activités mécaniques cranio-caudale et médio-latérale quantifient les instabilités dynamiques correspondantes,
- Economie de marche : la somme des 3 activités mécaniques est corrélée à la consommation d'oxygène qui, rapportée à la vitesse de marche, permet de calculer le coût énergétique,
- Contraintes subies par les membres inférieurs : la mesure du module d'énergie du signal dans les hautes fréquences fournit, à partir du signal cranio-caudal, un indice sur les forces de contrainte survenant sur chacun des membres inférieurs.

Validation de la méthode

L'excellente reproductibilité intra et inter observateurs de ces différentes variables autorise l'application de cette méthode au domaine clinique.

La marche du sujet âgé sain et actif

L'analyse d'une population témoin de 282 sujets sains et actifs (144 femmes, 138 hommes), adultes et âgés de 20 à 98 ans, a permis de définir des normes et de connaître les caractéristiques de la dégradation de la marche du sujet liées à l'âge.

Certaines variables sont indépendantes du sexe et de l'âge :

- la symétrie des demi-pas,
- la régularité des cycles de marche,
- la fréquence des cycles de marche (elle est identique chez l'homme et chez la femme lorsqu'elle est rapportée à la taille du sujet),
- l'activité mécanique médio-latérale.

D'autres variables sont influencées par le sexe et l'âge :

- la vitesse de marche : indépendamment de la taille, l'homme marche plus vite que la femme ; la vitesse de marche diminue de manière significative chez l'homme à partir de 50 ans et chez la femme à partir de 60 ans ;
- la longueur du pas : celle-ci est plus grande chez l'homme que chez la femme ; l'évolution de la vitesse de marche est fortement corrélée à la réduction de la longueur du pas ;
- l'accélération lors de la poussée du pied à l'appui est moins importante chez la femme que chez l'homme ; elle diminue significativement chez l'homme à partir de 50 ans et chez la femme à partir de 60 ans ; elle est liée à la diminution de la force musculaire

Ainsi, la dégradation précoce de la marche, indépendamment du sexe et de l'âge, peut être quantifiée par la mesure de la fréquence des cycles de marche (corrigée par la taille de l'individu), de la symétrie des pas, de la régularité des foulées et de l'activité mécanique médio-latérale.

Applications cliniques

Trois applications cliniques ont été validées : la maladie de Parkinson, la coxarthrose et la gonarthrose, le risque de chute des sujets âgés ; deux autres sont en cours d'étude (dépression et fibromyalgie).

a) La maladie de Parkinson

L'analyse de la marche de 22 patients atteints de maladie de Parkinson récemment diagnostiquée (*de novo*), en comparaison avec un groupe témoin, a confirmé, d'une part, que les patients réduisent leur vitesse de marche par un raccourcissement de la longueur du pas associée à une diminution de la cadence et a montré, d'autre part, que la diminution de la régularité des pas ainsi que de l'activité cranio-caudale étaient les variables les plus fortement corrélées au score moteur mesuré par l'échelle d'évaluation UPDRS. Ces deux variables ont été reconnues

les plus pertinentes, pour la quantification des perturbations de la marche stabilisée à un stade précoce chez les patients atteints de la maladie de Parkinson et pour en suivre l'évolution sous traitement.

b) Coxarthrose et gonarthrose

Les mécanismes d'adaptation biomécaniques observés chez les patients coxarthrosiques et gonarthrosiques en laboratoire sont retrouvés en ambulatoire par la méthode Locometrix®. Ainsi, les courbes d'accélération cranio-caudales confirment les différences d'adaptation fondamentales entre ces deux affections :

- la coxarthrose s'accompagne d'un pic de mise en charge accru du côté homolatéral (a), suivi d'une flexion seconde du genou plus importante (b), puis d'un appui monopodal allégé (c), et enfin une réduction de la poussée à l'appui (d) (Fig. 3) ;

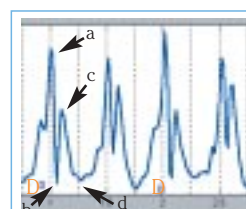


Fig. 3 : Coxarthrose droite
Indice de Lequesne : 5

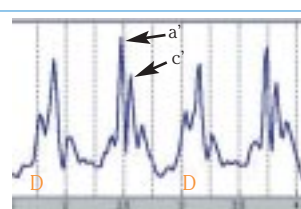


Fig. 4 : Gonarthrose droite
Indice de Lequesne : 8.5

(c), et enfin une réduction de la poussée à l'appui (d) (Fig. 3) ;

- la gonarthrose reporte l'appui du côté controlatéral avec des pics de mise en charge (a') et d'appui monopodal (c') plus importants (Fig. 4).

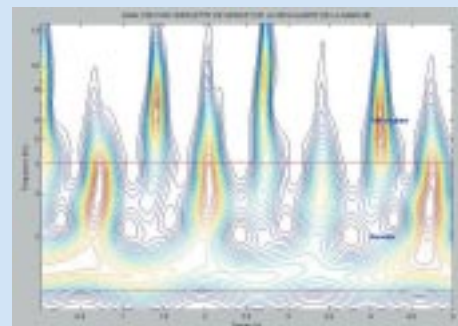
Par ailleurs, à partir d'une population de 28 patients coxarthrosiques (indice moyen de Lequesne : 9 ± 4), comparée à un groupe de sujets témoin appariés, il a été mis en évidence que les variables « symétrie » et « régularité » quantifiaient au mieux le degré de la boiterie. Locometrix® permet aussi de quantifier la surcharge mécanique homolatérale à chaque appui chez le patient coxarthrosique. Cette mesure fait appel au traitement du signal par la méthode dite des ondelettes (mesure du module d'énergie du signal en fonction de sa fréquence et de sa localisation) qui illustre parfaitement cette surcharge mécanique homolatérale du côté coxarthrosique : exemples 1 et 2. Cette mesure, riche d'informations, accessible en ambulatoire, est un véritable facteur pronostic pour la coxarthrose et permettra, aux rééducateurs et aux kinésithérapeutes, d'adapter leurs stratégies thérapeutiques.

Exemple 1 :

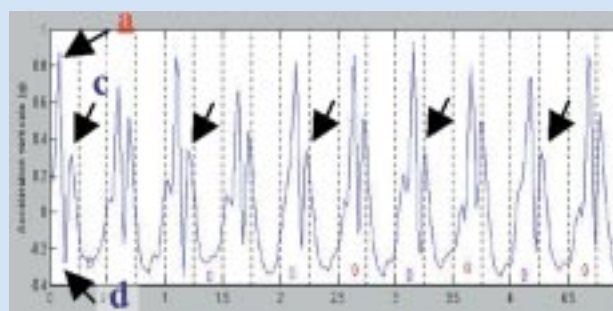
symétrie : 83%
régularité : 91%



Coxarthrose bilatérale plus marquée à droite, bien tolérée, indice de Lequesne à 5, chez un homme de 51 ans.



L'analyse par la méthode des ondelettes objective une onde de choc pathologique de haute fréquence et d'intensité nettement plus élevée du côté pathologique.



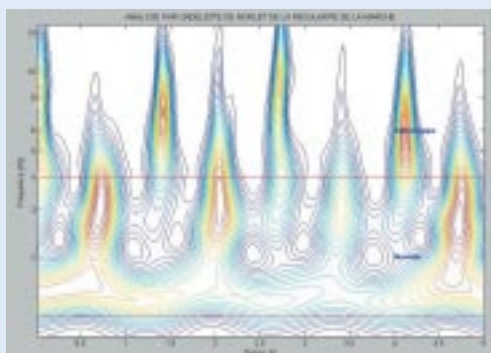
Courbe d'accélération cranio-caudale : mise en charge légèrement accentuée (a), flexion seconde du genou à l'appui plus marquée (b), pic d'appui monopodal nettement diminué (c) du côté pathologique.



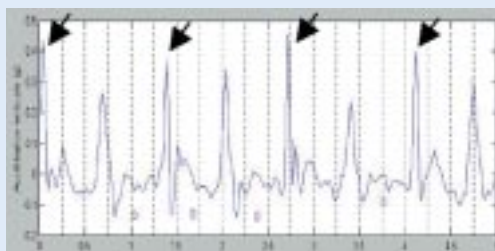
Exemple 2 :

symétrie : 49%
régularité : 33%

Coxarthrose bilatérale évoluée :
stade 3 à droite, 2 à gauche, indice
de Lequesne à 15, chez un
homme de 66 ans.



L'analyse par la méthode des ondelettes objective
une onde de choc pathologique de haute fréquence
et d'intensité particulièrement élevée, prépon-
dérante du côté atteint mais existant aussi du côté
contro-latéral.



Courbe d'accélération craniocaudale :
pic de mise en charge accru du côté le
plus atteint, désorganisation importante
du cycle de marche.

c) Risque de chute du sujet âgé

De très nombreux indices et tests cliniques
sont en relation avec le risque de chute du sujet
âgé (test de Tinetti, appui monopodal...). Ces
différents tests évaluent les aptitudes d'équili-
bre et de marche du sujet âgé sans pour autant
apporter une mesure quantifiée de la dégra-
dation de la marche. Parmi les anomalies du
cycle de marche, certaines sont prédictives du
risque de chute ; ainsi en est-il de la variabili-

té du pas (HAUSDORFF *et al.* 1997, MAKI 1997)
et des instabilités antéro-postérieure et médio-
latérale (CHOU 2003). Cette variabilité et ces
instabilités, indécélables lors de l'examen
clinique, nécessitent le recours aux mesures
instrumentales.

Une étude préliminaire, réalisée avec la métho-
de Locometrix®, comprenant 30 sujets âgés sains
et actifs et 20 sujets âgés chuteurs, a montré que
la perte de la régularité des foulées était très
fortement corrélée au risque de chute ($p < 0,001$) ;
ce qui rend l'utilisation de cette méthode, pour
identifier les sujets âgés ayant un risque accru
de chute, plus que simplement utile.

d) Autres applications médicales : dépression et fibromyalgie

Les troubles de la marche sont une des carac-
téristiques centrales de la dépression. Mesurer
et quantifier la marche chez ces patients aide-
ra non seulement à une meilleure analyse de
la physiopathologie de la dépression mais va
aussi permettre un suivi objectif de l'évolution
sous traitement. La fibromyalgie est une entité
clinique ; il devient possible d'y rattacher une
quantification objective par la mesure des
anomalies de la marche (résultats soumis à
publication).

Conclusion

Cette nouvelle méthode ambulatoire d'analy-
se de la marche ouvre la possibilité d'adjoin-
dre à la consultation une analyse biomécanique

de la marche. Son excellente reproductibilité
autorise son utilisation clinique. C'est une tech-
nique simple et rapide dans sa mise en œuvre,
elle n'est pas invasive et ne nécessite pas d'en-
vironnement expérimental particulier, hormis
un couloir rectiligne suffisamment long.

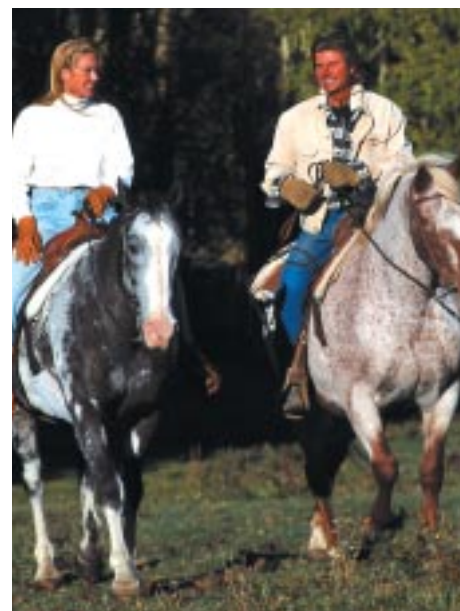
La diversité et la complémentarité des variables
de la marche la rendent utile pour l'évaluation
des thérapeutiques, des programmes de réédu-
cation et de réhabilitation dans des domaines
aussi variés que la maladie de Parkinson, la
coxarthrose, la gonarthrose et la dégradation de
la marche du sujet âgé.

• B. Auwinet¹, E. Barrey²

¹ : Hôpital de Laval, 53015 Laval Cedex.

² : Laboratoire des interactions gènes et
entraînement (LIGE), Université d'Evry, Bât
Maupertuis, 91025 Evry Cedex

*Locometrix® est une marque déposée
Centaure Metrix (www.locometrix.com).
Cette technologie, issue des recherches
INRA, est sous licence exclusive.



Le pied du marcheur de grand fond : Paris/Colmar, une légende en marche !

On l'appelle « La Doyenne » parce que c'est la plus ancienne épreuve de marche athlétique du monde ; c'est aussi la plus importante et surtout la plus folle, voire inhumaine puisque 30 marcheurs sont sélectionnés en cours d'année pour participer à une marche de 535 kilomètres. Il s'agit de PARIS/COLMAR [3].



Créée en 1926 pour célébrer les exploits des « Poilus de 14/18 », elle est devenue célèbre sous le nom de PARIS/STRASBOURG avant de devenir en 1981 PARIS/COLMAR. Cette marche qui réunit les meilleurs marcheurs d'endurance du monde s'effectue pendant 3 jours et 3 nuits consécutifs, voire 4 nuits pour les derniers arrivants à Colmar. Il n'y a que 2 arrêts obligatoires : l'un de 3 heures après 230 kilomètres parcourus et l'autre d'1 heure après 440 kilomètres de marche ! Tout arrêt supplémentaire de plus de 10 minutes prive à coup sûr le marcheur d'un classement sur l'épreuve. Les meilleures années, 8 à 10 marcheurs seulement sur les 30 du départ pourront atteindre Colmar.

Une épreuve féminine est venue se greffer au PARIS/COLMAR en 1989. Les féminines partent de CHALONS EN CHAMPAGNE et rallieront COLMAR en empruntant le même parcours que les hommes ; elles seront une douzaine et effectueront 360 kilomètres avec 2 arrêts obligatoires, le premier de 2 heures et l'autre d'1 heure...

A noter enfin que cette épreuve épuisante s'effectuera à l'allure moyenne de 8 à 9 Km/h, ce qui prouve que la marche athlétique ne peut se confondre avec une promenade de santé !

Devant de tels chiffres, on peut comprendre que l'hyper sollicitation des pieds de nos marcheurs induise une pathologie spécifique que l'on ne rencontrera nulle part ailleurs, en dehors peut-être de certains grands raids (Raid Gauloises, Raid de l'Atlas, etc.) qui connaissent une grande vogue aujourd'hui.

La pathologie rencontrée est essentiellement micro-traumatique ; elle est due à la longueur

de l'épreuve (entre 65 et 80 heures non stop) et à l'extrême répétition du geste. C'est certainement le pied qui souffre le plus au cours de cette épreuve où l'on rencontre d'une part des atteintes musculo-tendineuses et d'autre part et surtout une pathologie cutanée impressionnante.

LA PATHOLOGIE MUSCULO-TENDINEUSE

Pour le marcheur averti du PARIS/COLMAR, c'est la ténosynovite du tibia antérieur, la tendinopathie du tibia postérieur ou pire encore le syndrome de loge tibia antérieur qui sont le plus souvent rencontrés.

■ La ténosynovite du tibia antérieur est la plus fréquente et l'examen clinique met en évidence une tuméfaction importante de la région péri-malléolaire interne qui précède de plusieurs heures parfois les signes fonctionnels. Ce sont eux cependant qui conduiront à une impotence fonctionnelle partielle qui est source d'abandon. Cette pathologie survient le plus souvent après plus de 200 km. de marche.

■ La tendinite du tibia postérieur est moins fréquente mais elle correspond généralement à une attitude valgusante du calcaneus. Nous l'avons rencontrée plusieurs fois lors de démarche antalgique pour éviter un appui postéro-externe du talon rendu douloureux par la présence d'une grosse phlyctène. La douleur part de l'insertion basse du muscle sur le tubercule de l'os naviculaire et irradie dans le mollet.

■ Le syndrome tibia antérieur est bien moins fréquent mais ses conséquences sont parfois cruelles si sa reconnaissance est trop tardive. Le début peut se confondre avec la tendinopathie du muscle tibia antérieur évoquée précédemment, mais c'est l'hypoesthésie du pied qui sera froide avec abolition fréquente du pouls pédieux qui imposera l'arrêt immédiat de la marche suivi d'une fasciotomie précoce avant l'installation des signes neurologiques déficitaires.

LA PATHOLOGIE CUTANÉE

Elle est pratiquement toujours présente à des degrés divers. Il s'agit d'une pathologie de conflit avec la chaussure qui touche pratiquement 100% des athlètes. Les stades de gravité varient en fonction de 2 critères essentiels : le kilométrage parcouru d'une part et la préparation cutanée spécifique du pied en amont de la compétition d'autre part.

■ Les hématomes sous-unguéaux sont relativement rares car la plupart des marcheurs ont depuis bien longtemps des ongles « rudimentaires » à force d'avoir été traumatisés. Il s'agit donc d'une pathologie que l'on rencontre plus souvent sur les épreuves sélectives que sur la compétition elle-même. Le traitement passe par une évacuation à la seringue de la collection sanguine en ponctionnant entre l'ongle et son lit, et le soulagement est instantané.

■ Les atteintes cutanées se matérialisent par des phlyctènes d'importance variable mais souvent considérable. En fonction de la qualité de la préparation préalable de la peau du pied (traitement à l'acide picrique ou citrique associé à l'application préventive de topiques anti-échauffement), les ampoules apparaîtront à partir de 100 ou 150 Km de marche, souvent au niveau des orteils avant de toucher l'arrière-pied. Elles devront être évacuées à la seringue, désinfectées à l'éosine aqueuse (qui possède un pouvoir tannant) en conservant l'épiderme décollé, et recouvertes de tulle gras fixé au collodion riciné. Plus les kilomètres défilent et plus la pathologie cutanée sera sévère, entraînant des échauffements qui décollent l'épiderme jusqu'à un phénomène de brûlures de marche qui conduisent parfois à l'abandon. En règle générale, c'est l'atteinte du talon postérieur qui est la plus redoutée car elle pousse le marcheur à tenter de courir sur l'avant-pied, ce qui est disqualifiant en marche athlétique.

Devant de tels tableaux cliniques, même le podologue le plus averti s'interroge sur la capacité et la volonté de ces athlètes à continuer l'appui et la marche. Si moins d'une dizaine d'entre eux atteignent Colmar, on a tout lieu de penser que sans l'aide d'une assistance podologique importante, ce chiffre serait revu à la baisse.

suite page 12



suite de la page 11

Cette équipe podologique se compose de 15 podologues qui se répartissent entre les postes d'arrêts obligatoires et les 2 ambulances qui suivent l'épreuve nuits et jours du départ à l'arrivée à Colmar.

Les soins prodigués sont des soins d'urgence qui doivent être effectués très rapidement car le marcheur répugne à s'arrêter, ne pensant qu'au chronomètre ! Une spécificité de ces soins réside aussi du fait qu'aucun pansement traditionnel ne peut être proposé à ces athlètes car non seulement ils ne tiendraient pas, mais encore ils provoqueraient des frictions supplémentaires. Eosine aqueuse, tulle gras, vernis chirurgicaux, collodion riciné et topiques anti-échauffements seront de règle tout au long de l'épreuve.

Quoique la « marche athlétique » soit une discipline olympique, l'exploit physique exceptionnel et l'immense courage de ces athlètes de très haut niveau qui, rappelons-le, sont les meilleurs marcheurs au monde, n'ont d'égal que l'anonymat injuste qui les entoure tant il est vrai que sur le plan médiatique, des « années-lumières » séparent le vainqueur du PARIS/COLMAR de celui du TOUR DE FRANCE cycliste, de ROLLAND GARROS ou de tout autre épreuve de prestige !

● **Claude Huertas**

Directeur de l'Institut de Formation en
Pédicurie-Podologie de Toulouse,
CHU Purpan, 31059 TOULOUSE
Co-Responsable du D.U. de Podologie du
Sport de l'Université Paul Sabatier –
TOULOUSE



Conseil d'administration

Président : Christian Mansat
Secrétaire Général : Michel Mudet

Conseil scientifique

Président : Michel Mansat
Secrétaire : Etienne André
Sciences fondamentales : H. Cousse, J. -P. Bali,
P. Valdiguié, J. -P. Pujol, D. Mitrovic
Traumatologie et sports : G. Saillant, F. Bonnel,
D. Rivière
Hématologie : R. Bierné
Rhumatologie : F. Blotman, M. Waldburger,
E. Vignon,
J. Rodineau, B. Mazières
Gériatrie : Y. Rolland, C. Jeandel
Podologie : C. Huertas
Kinésithérapie : A. Lapêtre
Psychiatrie : P. Most

Opinion

De très nombreuses incertitudes persistent dans l'évaluation symptomatique et structurale des traitements anti-arthrosiques, symptomatiques d'action lente, dont la plupart revendiquent un effet structuro-modulateur sans qu'il y ait d'effet corrélé net entre ces deux actions.

La plupart des tests utilisés dans les études cliniques sont surtout qualitatifs donc subjectifs et soumis à de nombreuses variables compte tenu de la durée des traitements. Les principaux critères retenus dans les études sont au nombre de 5 :

- l'échelle visuelle analogique de Huskinson, généralement préférée à l'échelle verbale de Likert
- les indices algo-fonctionnels pour la hanche et le genou, souvent préférés à l'auto-questionnaire de WOMAC
- l'amélioration globale selon le jugement du patient qui utilise une échelle verbale en 8 items, et sur degré de satisfaction
- l'évaluation de l'amélioration globale selon le jugement de l'investigateur avec une échelle verbale
- la consommation d'antalgiques ou d'anti-inflammatoires non stéroïdiens

Les indices de qualités de vie (IQV) sont de plus en plus intégrés dans les études cliniques en particulier dans l'arthrose. La confusion vient de l'existence de nombreux modèles rendant les études comparatives très incertaines.

Les études des structuro-modulateurs portent essentiellement sur la mesure de l'interligne articulaire.

L'évolution de l'arthrose est lente et variable d'un sujet à l'autre, les paramètres pouvant intervenir dans l'évaluation de cette mesure sont nombreux avec plusieurs variantes, ce qui rend leur interprétation difficiles et contestables. « Il apparaît actuellement qu'aucune technique de mesure n'est réellement satisfaisante pour les études de structuro-modulation dans l'arthrose » (Brandt KD, J. Rheumatol 2002).

Par ailleurs, comme le précisent P. Richette et T. Bardin (Revue du Rhumatologie 2004-71) « Quels bénéfices cliniques un patient peut-il tirer d'une épargne radiologique de quelques dixièmes de millimètres de hanche d'interligne après 3 ans de prise médicamenteuses ? » Les récents travaux sur la physiopathologie de l'arthrose (cf. lettre sur les GAG) démontrent de toute évidence la priorité de la cible chondrocytaire avec un versant anabolique et catabolique et pour être plus précis anti-anabo-

lique. Cela permet de clarifier le mécanisme de déclenchement du processus arthrosique, de son évolution et de clarifier l'impact probablement multi-factoriel de la prise en charge de l'arthrose.

D'autres outils d'évaluation seront nécessaires pour juger des effets thérapeutiques :

- les marqueurs biologiques de l'arthrose (CTX-II Pr Mazières B)
- l'IRM doit permettre de visualiser et de quantifier le cartilage et les autres structures intéressées par le processus arthrosique comme l'os sous-chondral et trabéculaire en particulier l'œdème osseux.

L'analyse quantifiée de la marche du patient arthrosique par une méthode accélérométrique (Dr Auvinet B) fait probablement partie de ces méthodes d'avenir. C'est une méthode simple et rapide non invasive qui permet d'évaluer et de quantifier les troubles de la marche à partir de quelques variables simples : la vitesse du pas, la perte de symétrie du demi-pas, sa régularité et les modifications de l'onde de choc au niveau de la région lombaire. Ces modifications qualitatives et quantitatives doivent permettre d'évaluer l'évolution des arthroses du membre inférieur sous traitement. Nous attendons beaucoup de ces méthodes d'évaluation quantitatives dans la coxarthrose et la gonarthrose traitées tout particulièrement par l'acide hyaluronique.

Cette méthode d'évaluation de la marche (Locométrix®) peut être utilisée en dehors de l'arthrose dans d'autres domaines :

- le risque de chute chez les sujets âgés à l'origine de la plupart des fractures de l'extrémité supérieure du fémur dont on connaît la gravité
- la maladie de Parkinson avant et après traitement
- le suivi de l'obèse pour le calcul de ses dépenses énergétiques
- l'intérêt du port de semelles orthopédiques amortissantes dans la gonarthrose et la coxarthrose, et après implantation de prothèses totales dont on connaît les conséquences lors de l'activité physique sur les structures osseuses
- la modification de la marche chez les sujets Fibromyalgiques (ralentissement de la marche, de la longueur du pas, de sa régularité et diminution de l'activité verticale). Ces modifications sont assez proches de ceux observées chez les sujets dépressifs.

Prochains numéros de l'Observatoire du Mouvement :

**Lettre n°12 :
Mécanobiologie**

**Lettre n°13
Fibromyalgie II**



www.observatoire-du-mouvement.com



La lettre de l'Observatoire du Mouvement
est une publication de
L'Observatoire du Mouvement
Sud Radio - 4, place Alfonse-Jourdain
31071 Toulouse Cedex 7
Téléphone : 05 61 44 90 46

Directeur de la publication : Etienne André
Conception et réalisation : JB Conseil - 05 63 70 71 51
Impression : SIA
N° ISSN : 1628-6898
Dépôt légal : avril 2004