

12.3. La podométrie

Jean-Yves Cornu

La podométrie est l'application de méthodes de mesure à la caractérisation du pied. Les méthodes adoptées contribuent à une ambition commune des cliniciens : délivrer des caractéristiques chiffrées dans le but de décrire le pied le plus précisément possible. Il peut aussi s'agir de décrire le comportement du pied lors de ses sollicitations, conséquences visibles de son adaptation biomécanique à son cahier des charges. Les informations ainsi exploitables dépendent donc avant tout du type d'outil utilisé, de la classe des « dispositifs médicaux », et des protocoles qui lui sont attachés. Plutôt que d'établir un catalogue commenté des mesures possibles, il semble plus important d'insister ici sur la contribution de la podométrie à la compréhension des désordres posturaux, en privilégiant l'approche clinique du praticien assistée par des moyens de mesure accessibles.

Les principes de la podométrie

L'objectif couvre une étude de dimensionnement, de charges et contraintes subies, mais aussi du facteur temps et des modifications des paramètres qu'il entraîne pour des conditions d'exercice données. Le but final peut être de passer d'une connaissance anatomique à un état des lieux susceptible d'alimenter des modèles pour simulation, mais aussi de recueillir des arguments nécessaires à l'analyse puis à la prise en charge des pieds pathologiques ou dans l'activité quotidienne du clinicien.

Nous sommes ainsi dans un domaine qui concerne les statistiques anthropologiques sur le vivant, de la croissance du pied à son altération pathologique, mais aussi son imagerie, les analyses biomécaniques, les suivis des effets thérapeutiques à moyen et long terme, l'appareillage du pied... La podométrie est donc au centre de toute réflexion sur les pathologies et les développements de l'offre thérapeutique le concernant, mais aussi de toute approche de son comportement physiologique, des activités quotidiennes communes aux conditions limites.

Concernant la fonction posturale du pied, les exigences métrologiques (science de la mesure) seront classables en deux domaines : le pied en charge sans déplacement spatial des zones d'interfaçage pied-support (même si celles-ci se modifient au cours du temps d'observation) ; le pied en charge alors que les références spatiales des zones d'interfaçage changent, ceci plus ou moins rapidement et plus ou moins cycliquement. Dans la première situation, le corps peut bouger, ce qui est l'essence même de l'équilibration si le support devient mobile ou si le corps, *via* les membres supérieurs, interagit avec l'environnement. Il peut aussi ne pas bouger du point de vue de son alignement inter-segmentaire, mais subir des déplacements limités idéalement assimilables à un pendule inversé, comme c'est le cas des conditions d'enregistrement normalisé

en posturologie. C'est cette dernière condition qui a malheureusement encouragé le terme de comportement statique, alors même que l'acquisition de phénomènes dynamiques au cours de cette observation « statique » doit faire parler d'« acquisition stato-dynamique », par différenciation avec les acquisitions dynamiques quand les lieux d'interfaçage pied-support se déplacent et/ou s'alternent dans le temps.

Les différentes directions

Les objectifs

Dans le domaine métrologique, les outils utilisés vont être choisis selon les objectifs préalablement définis. Il y aura des paramètres directement exploitables, par exemple la pointure ou la largeur de l'interligne métatarso-phalangien. D'autres seront faussement directement exploitables car soumis aux spécificités des outils utilisés et des protocoles déployés. C'est le cas de la surface d'interfaçage pied-support. Il y aura enfin des mesures indirectes qu'il conviendra d'exploiter puis d'interpréter par rapport à la motivation de cette quête métrologique : les discussions autour de la posturographie à propos des normes de plate-forme et de leurs rendus en illustrent toute la difficulté.

De ce constat du rôle des outils et des protocoles d'acquisition, est née notre habitude clinique de différencier des évaluations accessibles au praticien dans sa pratique clinique quotidienne de celles constituant un « travail de recherche ». Ce dernier comporte aussi bien des tests nécessitant des modes opératoires planifiés et disposant d'un temps d'acquisition suffisant, mais peu coûteux en termes d'investissement pour l'outil dédié (parfois déjà classé comme dispositif médical, c'est-à-dire agréé et certifié), que des tests seulement réalisables sur un plateau technique sophistiqué et onéreux, ou utilisant un outil prototypé. Selon l'intérêt du praticien et son engagement dans une voie « métrologique », la posturologie utilisant une plate-forme normalisée et un environnement conforme aux protocoles recommandés par les différentes sociétés savantes œuvrant sur cette question, l'épreuve posturologique standardisée datant de près de trois décennies est accessible au praticien en pratique courante. Mais elle apparaît déjà comme un exercice d'exception en temps ou lieu dédié. En fait, les limites d'accessibilité d'une pratique métrologique seront parfois déplacées selon l'investissement clinique du praticien dans le champ de la posturologie. L'illustration du flou de ces frontières apparaît clairement pour des kinésithérapeutes qui se sont spécialisés dans la rééducation vestibulaire et pour lesquels les outils d'évaluation et de rééducation finissent même par se confondre.

Mais, avant même de détailler les objectifs, les termes de « rigueur métrologique », et de « prudence dans l'interprétation » s'imposent à tout pratiquant d'une acquisition podométrique. En témoigne l'usage du fil à plomb pour vérifier la projection de l'alignement du corps au-dessus de l'arrière-pied qui nécessite les mêmes obligations de rigueur lors de l'acquisition, avant d'en tirer des enseignements, que la pratique de tests d'analyse du mouvement !

Classement des objectifs

Ils peuvent arbitrairement être classés en 6 groupes : dimensionnement géométrique du pied, caractérisation géométrique de l'interface, caractérisation des charges et réactions au sol lors du protocole, modifications enregistrées du pied sous charges évolutives appliquées, comportement cinématique et enfin regroupement de divers autres objectifs plus spécifiques ou moins partagés par la communauté des praticiens. Les trois premiers groupes d'objectifs sont les plus concernés en clinique quotidienne de posturologie, car ils sont rendus très accessibles par leurs dispositifs médicaux. Ainsi, les questions se posent pour chaque groupe : s'agissant du dimensionnement géométrique du pied, la question devient importante dès lors que les conditions pathologiques (malformation ou amputation pour l'essentiel) modifient amplitudes et proportions du dimensionnement du pied ; l'arrivée des scanners et leur probable baisse de prix ont considérablement enrichi la documentation morphologique du pied, tandis que l'imagerie peut devenir accessible au praticien avec les échographes dédiés. La caractérisation surfacique des conditions d'interfaçage dépend beaucoup du facteur temps imposé simultanément. La démarche est purement descriptive quand il s'agit d'apprécier l'adaptation du sujet à des conditions pathologiques (flessum important, inégalité marquée de longueur entre les membres inférieurs). Le facteur temporel introduit la caractérisation des surfaces utilisées lors d'un protocole dynamique en relation avec la disponibilité de la surface plantaire en protocole stato-dynamique. Enfin, l'étude des pressions et forces à l'interface est le groupe d'objectifs le plus communément commenté en posturologie. Pour les autres groupes d'objectifs, citons tous les outils vidéo ou optiques, parfois simples à utiliser et de plus en plus accessibles. Des dispositifs de type « capteurs embarqués » permettent aussi, en pratique courante, de s'intéresser à la variation de l'angle tibio-calcanéen *a minima*, lors de l'équilibration.

Les attentes en clinique de l'adaptation posturale

Dans un bilan de pied, sa contribution à l'adaptation posturale est régulièrement minimisée sinon oubliée. Ce « pied postural » est pourtant l'un des 6 domaines d'expression biomécanique, qu'il s'agisse de pied physiologique ou de pied pathologique, à côté des autres domaines que sont la déformabilité par mosaïsme, l'organisation du pied en sous-segments interactifs, la mobilisation de ces segments par coordination musculaire, le caractère suspendu de la structure pied, le comportement viscoélastique global sous charge. Il est aisé de comprendre que l'interprétation de tests étudiant les performances du pied postural ne peut intervenir qu'une fois les autres domaines d'expression biomécanique précisés.

S'agissant de la caractérisation du dimensionnement du pied, l'étude posturographique impose normalement une position précise des pieds. La conséquence en est une standardisation du polygone de sustentation. Cependant, en pathologie, cette position n'est pas souvent utilisable, surtout lors des circonstances qui

nécessitent le port permanent d'un appareillage (et donc dans l'objectif d'améliorer l'efficacité de ce dernier pour l'équilibration de la personne debout). La position adoptée spontanément par le sujet, la position relative en référence sagittale des deux arrière-pieds, l'ouverture des deux axes de pied par rapport à la ligne de progression, l'écartement des pieds, sont autant de critères de caractérisation et de suivi évolutif de la personne. En outre, le facteur temps permet de vérifier la robustesse de cette référence de posture debout, c'est-à-dire la qualité de reproductibilité du positionnement des pieds.

Quel que soit le positionnement adopté, la métrologie permet de s'intéresser à la surface utilisée du pied, définissant des zones d'appuis atypiques ou, à l'inverse, anormalement absentes. Par définition, l'instabilité du sujet se traduit par des variations répétées de la surface d'appui utilisée, voire le déplacement d'un des pieds. Mais c'est leur caractère aléatoire ou, au contraire, de tactique assimilée qui constitue l'information originale utile. Les effets de la chirurgie, de la rééducation, de l'appareillage ou de la prise en charge posturale sus-jacente peuvent ainsi être appréciés dans le temps. L'intérêt de l'étude des pressions et des forces est largement commenté par ailleurs. Cependant, cliniquement, la prise en compte de l'évolution du statokinésigramme par tranche de temps au sein de la minute d'observation est un élément caractéristique de la pertinence de la régulation posturale. Enfin, pour les capteurs embarqués, ou même à s'intéresser aux déplacements intersegmentaires ; pour notre expérience, le suivi de la prono-supination est plus instructif ! C'est l'étude même de l'adaptation au sein du bloc calcanéo-pédieux, particulièrement importante pour le travail adaptatif du pied lors d'une tâche d'équilibration monopodale. Plus globalement, nous avons utilisé ces procédures pour caractériser station debout et démarche lors de problèmes rachidiens.

Conclusion

Le développement des techniques ne peut que faire évoluer fortement l'offre en métrologie du pied ; cependant, simultanément, évolueront aussi la disponibilité en temps et les capacités financières d'investissement des praticiens. La dimension temporelle permet de « fouiller » le travail demandé au pied, ouvrant ainsi une meilleure compréhension des phénomènes de « surcharge de travail mécanique du pied » et le vieillissement prématuré qui s'y rapporte. Il est difficile de se projeter sur les tests qui enrichiront les pratiques quotidiennes du posturologue, mais il reste une forte marge dans l'exploitation des données actuellement couramment accessibles.

Bibliographie

La stabilométrie

1. Marie P. Les troubles subjectifs consécutifs aux blessures du crâne. *Revue de Neurologie* 1916;4-5:454-76.
2. Aristote. Les Parties des animaux Trad. Paris: Pierre Louis. G. Budé; 1956.

3. Gagey PM, Baron JB, Ushio N. Introduction à la posturologie clinique. *Agressologie* 1980;21(E):119–24.
4. Gagey B, Bourdeaux O, Gagey PM. From the center of pressure to the center of gravity, a new algorithm for a step forward in stabilometry. *MTP Rehab Journal* 2015;13:264–70. doi: 10.17784/mtprehab.journal.2015.13.264.
5. Winter DA. A.B.C. of Balance during Standing and Walking. Waterloo: Waterloo Bio-mechanics; 1995.
6. Gage W, Winter D, Frank J, Adkin A. Kinematic and kinetic validity of the inverted pendulum model in quiet standing. *Gait and Posture* 2004;19:124–32.
7. Normes 85. (1985). Éditées par l'Association pour le développement et l'application de la posturologie.(ADAP).
8. Gagey B, Ouaknine M, Bourdeaux O, Vuillerme N, Gagey P.M. (2012) Pourquoi utiliser le centre de masse en stabilométrie clinique ? [http ://ada-posturologie.fr/PourquoiUtiliser.pdf](http://ada-posturologie.fr/PourquoiUtiliser.pdf).
9. Gurfinkel VS, Lipshits MI, Popov KY. Is the stretch reflex the main mechanism in the system of regulation of the vertical posture of man ? *Biophysics* 1974;19(4):761.
10. Winter DA, Patla AE, Prince F, Ishac M, Gielo-Perczak K. Stiffness control of balance in quiet standing. *J Neurophysiol* 1998;80:1211–21.
11. Loram ID, Lakie M. Direct measurement of human ankle stiffness during quiet standing : the intrinsic mechanical stiffness is insufficient for stability. *J Physiol* 2002;545:1041–53.
12. Lakie M, Caplan N, Loram ID. Human balancing of an inverted pendulum with a compliant linkage: neural control by anticipatory intermittent bias. *J. Physiol. (London)* 2003;551:357.
13. Loram ID, Maganaris CN, Lakie M. Paradoxical Muscle Movement during Postural Control. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2009;41(1):198–204. Birmingham.
14. Takagi A, Fujimura E, Suehiro S. A new method of statokinesigram area measurement. Application of a statistically calculated ellipse. In: Igarashi M, Black FO, editors. *Vestibular and visual control of posture and locomotor equilibrium*. Basel: Karger; 1985. p. 74–9.
15. Baratto L, Morasso PG, Re C, Spada G. A new look at posturographic analysis in the clinical context: sway-density vs. other parameterization techniques. *Motor control* 2002;6(3):246–70.
16. Boutines C, Gagey B, Gagey PM. (2011). A “time constant” of the upright postural control system? ISPGR Congress, Akita 2011, non publié.
17. Dudde R, Müller G, Bourdeaux O, Gagey B, Weber B, Gagey PM. (2014) Dialogue médecins/entraîneurs autour d'une plate-forme de forces, Science & Sports.
18. Ferrey G. *Abord psychosomatique des traumatisés du crâne*. Paris: Masson; 1995.
19. Gurfinkel VS. On two types of static disturbances in patients with local lesions of the brain. *Agressologie* 1973;14(D):65–72.
20. Gagey PM, Toupet M. Le rythme ventilatoire apparaît sur les stabilogrammes en cas de pathologie du système vestibulaire ou proprioceptif. In: Lacour M, Gagey PM, Weber B, editors. *Posture et environnement*. Montpellier: Sauramps; 1997. p. 11–28.
21. Guillemot A, Duplan B. Étude de la prévalence des troubles posturaux au sein d'une cohorte de 106 patients lombalgiques. In: Gagey PM, Weber B, editors. *Entrées du système postural fin*. Paris: Masson; 1995. p. 71–7.
22. Tardy D. La synergie respistatique ou « SRS ». In: Lacour M, Gagey PM, Weber B, editors. *Posture et environnement*. Montpellier: Sauramps; 1997. p. 29–54.
23. Gagey PM, Toupet M. L'amplitude des oscillations posturales dans la bande de fréquence 0,2 Hertz : Étude chez le sujet normal. In: Lacour M, editor. *Posture et équilibre*. Montpellier: Sauramps; 1998. p. 155–66.
24. Lacour M, Bernard-Demanzeb L, Dumitrescu M. Posture control, aging and attention resources: Models and posture-analysis methods. *Clinical Neurophysiology* 2008; 38:411–21.

25. Kohen-Raz R. (1986). Learning disabilities and Postural control. Freund Publ. House, suite 500, Chesham House, 150 Regent Street, London W1R 5FA.
26. Gagey PM, Toupet M. Orthostatic postural control in vestibular neuritis. A stabilometric analysis. *Ann. Otol. (St Louis)* 1991;100(12):971–5.
27. Gagey PM, Weber B. Study of intra-subject random variations of stabilometric Parameters. *Med Biol Eng Comput* 2010;48:833–5.
28. Ouaknine M. (2007). Les sabots et cyber-sabots: la conception du statodynamique, In *Entretiens de Bichat*, Paris, 15/10/2007.
29. Rossato M, Bourgeois P, Ouaknine M. Stabilometry standard guidelines 2011-2013 during clinical practice. Roma. (Italien): Marrapese; 2013.

Le test de Hess-Weiss, coordimétrie de version à visée posturale

30. Weiss JB. *Déséquilibre oculomoteurs et Coordimètre*. Doin; 1983.
31. Ardouin M, Urvoy M, Salmon D, Elliot F, Kerbrat C. Enregistrement coordimétrique de la manœuvre d'inclination de la tête de Bielchowski. *Journal Français d'Orthoptie* 1981;13:189–94.
32. Brouet M. *Étude critique de la coordimétrie de type Hess-Lancaster-Weiss au cours des paralysies oculomotrices. Présentation d'un nouvel écran*. Tours: Thèse de médecine; 1984.
33. Marucchi C. Coordimétrie de version, complément du bilan postural. *Agressologie* 1987;28:949–52.
34. Calage V, Weber B, Marucchi C. Variabilité de la coordimétrie de version chez l'adulte sain. *Revue ONO* 1994;28:19–20.
35. Zamfirescu F, Dujols A. Variation immédiate de la coordimétrie de version provoquée par la pose d'un prisme actif. *Revue ONO* 1994;28:21–2.
36. Levy M, Coupin I, Weber B, Gagey PM. —La modification de l'occlusion contrôlée par un test de Hess Weiss Postural entraîne-t-elle une modification de la verticale visuelle subjective ? *Posture & Locomotion* 2001;277–86. 16^e journées de Posturologie clinique.
37. Boschero. Mémoire du DIU de Posturologie clinique.
38. Coupin I. Le rôle de l'orthoptiste au sein d'un réseau spécialisé en posturologie, présentation de cas cliniques. *JFO* 2006;57–71.
39. Coupin I. Bilan orthoptique à visée posturale. *JFO* 2010;105–14. 13-1.
40. Alves da Silva O. Scotométrie directionnelle et correction prismatique dans le syndrome de déficience posturale. *Agressologie* 1987;28:945–6.
41. Gagey PM, Weber B. *Posturologie, régulation et dérèglements de la station debout*. Masson; 2004.

