

APPLICATION DE LA METHODE PROCUSTE A L'ANALYSE QUANTITATIVE DE LA « POULAINE » : INFLUENCE DE LA SPECIALITE ATHLETIQUE

Decker L.^{1,2}, Renous S.¹, Berge C.¹, Penin X.¹, Natta F.²

¹ *Adaptations et Evolution des Systèmes Ostéomusculaires, FRE 26 96, CNRS, MNHN, Paris (France)*

² *Laboratoire Mouvement, Action et Performance, INSEP, Paris (France)*

Introduction

La méthode morphométrique Procuste, jusqu'alors destinée à l'étude quantitative de la forme géométrique des pièces osseuses en anthropologie, est appliquée, pour la première fois, à une forme spécifique extraite d'un mouvement cyclique. La forme choisie ici est la « poulaine », caractéristique du mouvement relatif de la cheville par rapport à l'articulation de la hanche au cours d'un cycle complet de course chez l'humain. L'objectif de cette étude est de quantifier les changements de forme de la poulaine en fonction de la spécialité athlétique du coureur.

Matériel et protocole

Quatre sprinters (moyenne au 100 m de $10,90 \pm 0,34$ s) et quatre coureurs de demi-fond (moyenne au 800 m de $1,54 \pm 0,8$ s) ont réalisé quatre séquences de course avec une récupération active de huit minutes entre chaque essai. Les coureurs, munis de marqueurs aux différentes articulations du membre inférieur droit, ont été filmés à l'aide d'une caméra numérique (50 Hz) en vue latérale dans un intervalle de 10 mètres situé entre 50 et 60 mètres d'une course de 100 mètres pour les sprinters et entre 150 et 160 mètres d'une course de 200 mètres pour les coureurs de demi-fond. Ainsi, les données cinématiques sont recueillies à vitesse spécifique pour les deux catégories de coureurs. Cet intervalle est délimité par des cellules (Brower, U.S.A.) afin de relever à chaque course la vitesse moyenne de déplacement pour parcourir les 10 mètres (performance de l'essai).

Méthode de traitement

L'application de la « superposition Procuste » à l'analyse comparative du cycle de jambe de différents coureurs comprend plusieurs étapes :

- Définir préalablement l'homologie spatiale des points constituant la forme de la poulaine (points-repères). Les marqueurs articulaires sont digitalisés (logiciel DigitX) à 14 événements remarquables du cycle de course, homologues et identifiables chez tous les coureurs, quelle que soit leur spécialité et leur morphologie.

- Normaliser la taille des poulaines afin de s'intéresser à la « conformation », c'est-à-dire aux proportions relatives des différentes parties de la poulaine. Pour normaliser, les coordonnées des points-repères de la poulaine sont divisées par la « taille centroïde » définie par la racine carrée de la somme des carrés des distances entre le centre géométrique et les coordonnées des point-repères (Gower, 1975). On obtient ainsi de nouvelles coordonnées des points-repères qui traduisent les changements de conformation au sein des poulaines (Rohlf et Slice, 1990).

- Ajuster de façon optimale les différentes poulaines par des mouvements de translation et de rotation afin de minimiser les écarts entre les points-repères homologues (critère des moindres carrés). On obtient ainsi une conformation moyenne appelée « consensus » (figure 1). Chaque poulaine est définie par ses « résidus Procuste ». Les résidus sont les différences entre les coordonnées de la poulaine après superposition avec les coordonnées homologues du consensus.

Une analyse en composantes principales est réalisée à partir de la matrice des résidus Procuste.

Résultats et discussion

Les deux premières composantes principales résument 59 % de la variance totale. La première composante (40.2 % de variance) distingue clairement un patron propre à chaque spécialité de course ($R^2 = 0.68$, $p < 10^{-6}$), tandis que la deuxième composante (18.8 % de variance) correspond à la variabilité intragroupe. Les possibilités graphiques du logiciel APS (Penin,

2000) associées aux propriétés statistiques des composantes permettent de visualiser les changements de conformation de la poulaine comme des mouvements simultanés de points-repères (figure 1).

La poulaine des coureurs de demi-fond a une conformation dissymétrique avec une partie postérieure (points-repères 4 à 8) large et haute et une partie antérieure fusiforme (points-repères 11 à 1), tandis que la poulaine des sprinters présente une conformation ovoïde dont l'aire de la partie postérieure est quasiment identique à celle de la partie antérieure. Ce qui confirme les résultats de Piasenta (1988) caractérisant le sprinter par son « cycle de jambe antérieur ». En outre, la comparaison des distances entre les mêmes points-repères d'un patron à l'autre permet de comparer la vitesse de déplacement de la cheville au cours d'une même phase du cycle de jambe en fonction de la spécialité athlétique.

La figure 2 montre qu'il existe une corrélation positive entre la taille centroïde et la vitesse de déplacement du coureur entre les deux groupes ($R^2 = 0.672$, $p < 10^{-4}$), mais pas au sein d'un même groupe ($R^2 < 0.2$, $p > 0,5$). Ceci confirme les données de la littérature décrivant, chez les sprinters, une plus grande utilisation des possibilités de leur géométrie corporelle pour franchir une distance conséquente pendant la phase aérienne tout en conservant une fréquence élevée de leurs appuis.

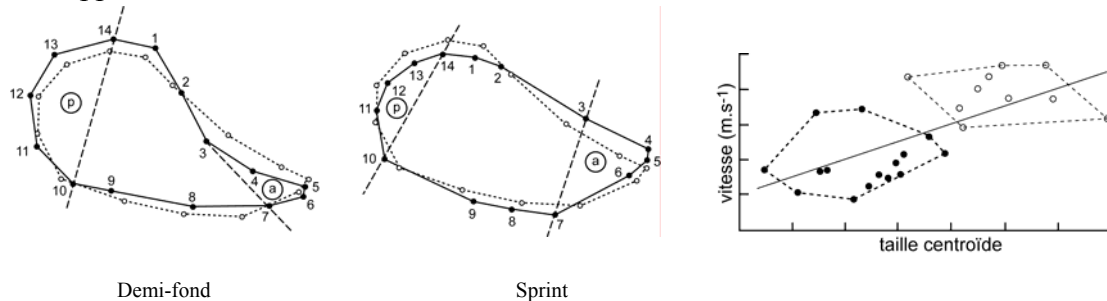


Figure 1 : Patrons des « poulaines ». a) partie antérieure ; p) partie postérieure. Lignes pointillées : « consensus » commun aux deux spécialités; lignes continues : « conformation » caractérisant la spécialité. Les 14 points-repères sont issus des 14 images références du cycle de jambe retenues pour l'étude.

Figure 2 : Taille centroïde des « poulaines » en fonction de la vitesse de déplacement du coureur. Cercles pleins : coureurs de demi-fond ; cercles évidés : sprinters.

Conclusions

La méthode Procuste offre des perspectives prometteuses pour analyser la forme et la variabilité du mouvement dans un cadre mathématique et statistique. Elle permet d'extraire les invariants du mouvement statistiquement significatifs d'un type de course en testant la conformation globale de la poulaine, et non chacun de ses points comme dans les méthodes classiques. Ces paramètres invariants constituent des données utilisables dans le cadre de l'entraînement spécifique.

Références bibliographiques

- Gower (J.C) - Generalized Procrustes analysis. *Psychometrica*, 1975, vol. 40, pp. 33-51.
 Penin (X.) - Analyse et prévision de croissance crânienne par superposition Procuste. *Revue d'Orthopédie Dento Faciale*, 1999, vol. 33, pp. 275-286.
 Penin (X.) - APS : Freeware available on the net, 2000. Web : <http://www.procuste.com>.
 Piasenta (J.) - L'éducation athlétique. INSEP, Collection Entraînement, 1988, 270 p.
 Rohlf (F.J), Slice (D.E) - Extensions of the Procrustes methods for the optimal superposition of landmarks. *Systematic Zoology*, 1990, vol. 39, pp. 40-59.