

ANALYSE BIOMECHANIQUE DE L'EQUILIBRE DES GYMNASTES A LA POUTRE: MESURE DES FORCES DE REACTIONS 3-D.

Hars M¹, Holvoet P^{1,2}, Gillet C¹, Barbier F¹, Lepoutre FX¹

¹ LAMIH, Université de Valenciennes, France

² LEMH, Université de Lille 2, France

INTRODUCTION

A la poutre d'équilibre, l'épaisseur de la surface d'appui (0.10m) et sa hauteur par rapport au sol (1.25m) demeurent les plus importants facteurs qui déterminent la vulnérabilité de l'équilibre du corps de la gymnaste. Le contrôle de l'équilibre est d'autant plus sollicité lors des déplacements acrobatiques où les gymnastes sont amenées à s'équilibrer successivement sur les pieds et les mains. Seulement quelques études sur les mouvements de gymnastes à la poutre ont été conduites (e.g. Brown et al., 96), se limitant à l'analyse de sorties d'agrès, de la marche ou encore en posture statique, mais aucune ne s'est encore attachée à caractériser l'équilibre de ces gymnastes lors d'acrobacies, à partir de paramètres cinétiques, données pertinentes dans l'étude du mouvement humain. Le travail entrepris au sein du LAMIH vise à étudier l'équilibre dynamique de gymnastes expertes à cet agrès. L'instrumentation d'une poutre permettant le recueil des forces externes au niveau des appuis manuels et pédestres est présentée. Un recueil cinématique et dynamique sont simultanément effectués. La dynamique des forces de réaction qui s'exercent durant les différentes phases d'appuis est étudiée. La concordance entre les forces externes calculées à partir des données issues des plate-formes et des données cinématiques est déterminée (Gillet et al., 2003; Kingma et al., 1996).

Le mouvement de souplesse arrière, acrobatie de base dont la difficulté réside dans le maintien de l'équilibre du corps malgré le départ en station unipodale, le renversement total vers l'arrière et le passage par une succession d'appuis qui varient au cours du mouvement, a été retenu pour l'étude.

MATERIEL ET METHODES

Une poutre d'équilibre expérimentale (Fig.1), instrumentée avec deux plates-formes de force et deux cellules de forces tridimensionnelles

LOGABEX, entièrement conçue au LAMIH, a été utilisée. L'ensemble du système est fixé sur un socle constitué par un rail en acier permettant de régler les plates-formes sur un axe antéro-postérieur et de surélever l'ensemble du dispositif, l'agencement étant réalisé en fonction des sujets et des modalités d'exécution.



Figure n°1 : Instrumentation de la poutre avant aménagement des espaces libres.

Les composantes de forces dans les trois directions de l'espace ont été enregistrées. En outre, une mesure cinématique a simultanément été réalisée à l'aide du système opto-électronique VICON 612, doté de 8 caméras. Les données ont été synchronisées et collectées à 120 Hz.

La relation fondamentale de la dynamique (1) a été utilisée pour tester l'adéquation entre les données des plate-formes et les données cinématiques dans l'estimation des forces externes. Une analyse de corrélation a été effectuée.

$$\sum \vec{F}_{ext,t} = \sum_{i=1}^{N=16} m_i \cdot \vec{a}_{i,t} \text{ with } \sum \vec{F}_{ext,t} = \vec{R}_{RH,t} + \vec{R}_{LH,t} + \vec{R}_{RF,t} + \vec{R}_{LF,t} + \vec{W} \quad (1)$$

$\vec{R}_{RH}, \vec{R}_{LH}, \vec{R}_{RF}, \vec{R}_{LF}$ représentent respectivement les forces de réactions au niveau des mains (droite et gauche) et des pieds (droit et gauche). \vec{W} correspond au poids du sujet.

En s'appuyant sur les critères de jugement technique en vigueur établis par la Fédération Internationale de Gymnastique, les meilleures réalisations, d'un échantillon composé de six gymnastes féminines de niveau national (taille moyenne : 153.2 ± 10.8 cm, âge moyen: 15.83 ± 3.8 ans, poids moyen : 45.5 ± 13.4 kg), réalisant le mouvement sur la poutre instrumentée en condition de compétition (1m25), ont été retenues.

RESULTATS

Les moyennes des corrélations obtenues pour chaque sujet entre la somme des forces externes et la somme des masses des segments multipliées par leurs accélérations linéaires sont respectivement de 0,979 (\pm S.D: 0.01) pour l'axe vertical (Z) et 0.969 (\pm S.D: 0.005) pour l'axe antéro-postérieur (Y).

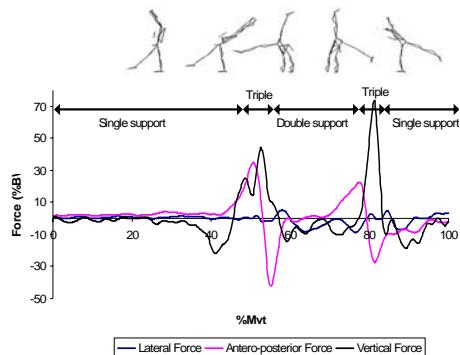


Figure n°2: Essai typique illustrant la variation de la somme des forces externes issues des données des plate-formes pour les trois axes.

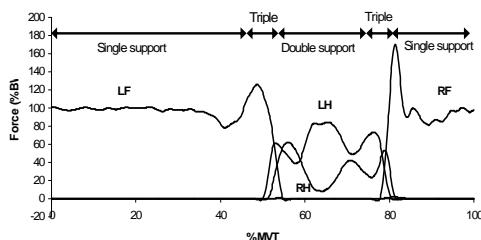


Figure n° 3: Essai typique illustrant la variation des forces verticales recueillies au niveau de chacun des appuis.

Les valeurs de force (Fig. 2) ont été normalisées en pourcentage du poids de corps (%BW). La moyenne des amplitudes de forces résultantes (valeur maximum – valeur minimum) représentent respectivement 16% (\pm 3) du poids de corps, 88(\pm 10) et 105(\pm 9) pour les axes latéraux, antéro-postérieurs et verticaux. Les pics maximaux des résultantes de forces observés sur l'axe antéro-postérieur (moyenne 50% \pm 7) sont associés avec le passage du simple appui à la position d'appui tendu renversé qui doit être contrôlée, après avoir réussi à créer le renversement du corps vers l'arrière. Sur l'axe vertical, les valeurs de pics maximaux (moyenne 76% \pm 8) apparaissent lors du redressement amenant le retour en position unipodale après décollement des mains de la poutre. Les forces latérales les plus importantes sont développées lors du passage en position d'appui tendu renversé.

DISCUSSION ET CONCLUSION

La variabilité des amplitudes et des patterns de forces pour chaque direction et chaque appui (Fig. 3) sont discutés. Au regard des amplitudes de données de forces sur l'axe antéro-postérieur et vertical qui sont environ respectivement 5 à 6 fois supérieures à celles rencontrées sur l'axe latéral, il existe une stratégie de minimalisation des forces latérales, la gymnaste devant préserver l'équilibre dans le plan frontal. Les forces produites sur les axes antéro-postérieurs et verticaux doivent permettre à la gymnaste de se déplacer vers l'arrière avec passage marqué en appui tendu renversé, tout en produisant des efforts verticaux suffisants pour maintenir le centre de gravité assez haut. Le jeu entre les différents pics de forces développés sur les axes antéro-postérieurs et verticaux coïncident avec les situations où les changements de type d'appui et de position (renversé / debout) sont contraignants, notamment lors du renversement et du redressement total du corps.

Le protocole expérimental mis en place permet de mieux cerner les processus qui sous-tendent le contrôle de l'équilibre dynamique du corps à la poutre. Il serait intéressant de mettre en relation les résultats obtenus avec l'étude des différentes contributions segmentaires (à partir des masses accélérées) dans la génération des forces externes. D'un point de vue pratique, ce type d'expérimentation permet d'apporter aux gymnastes et à leurs entraîneurs des informations quantitatives sur la performance en leur offrant notamment la possibilité d'accéder aux paramètres cinétiques, données dans l'entraînement qui peuvent s'avérer pertinentes pour compléter l'analyse du geste du sportif, notamment afin de mieux cerner les processus qui sous-tendent la réussite de la gymnaste.

REFERENCES

- Brown E, Witten W, Weise M, Espinoza D, Wisner, D, Learman J, Witten C. *Attenuation of ground reaction forces in salto dismounts from the balance beam*. Proceedings-XIII International Symposium on Biomechanics in Sports, Ontario, Canada , 1996.
- Gillet C, Duboy J, Barbier F, Armand S, Jeddi R, Lepoutre F.X, Allard P. *Contribution of Accelerated Body Masses to Able-Bodied Gait*. Am. J. Phys. Med. Rehabil. 82: 101-109, 2003.
- Kingma I, Toussaint HM, De Looze MP, Dieen van JH. *Segmental inertial parameter evaluation in two anthropometric models by application of a dynamic linked model segment model*. J Biomech. 29: 693-704, 1996.