

L'entraînement avec un poids léger : haute performance et prévention des risques musculo-squelettiques du complexe de l'épaule

RÉSUMÉ | SUMMARY

L'objectif de cette étude sur le lancer du poids en rotation est d'analyser l'influence de la masse du poids (6,00 vs 7,26 kg) sur les paramètres cinématiques du lancer, et de prescrire ou non un engin plus léger afin de minimiser le risque de blessure au niveau du bras lanceur.

La comparaison de la cinématique du poids a montré l'absence d'altération significative du geste de lancer lors de l'utilisation d'un poids léger chez les lanceurs experts. En conséquence, ces résultats suggèrent qu'un poids de masse moins importante pourrait être employé pour l'entraînement des athlètes de haut niveau, évitant ainsi un surmenage musculo-squelettique lors des phases intensives d'entraînement et/ou permettre un retour plus rapide après blessure du complexe de l'épaule.

The aim of this study on the shot put in rotation is to analyze the influence of the weight mass (6,00 vs 7,26 kg) on the kinematic parameters of the throw, and to prescribe or not a lighter weight to minimize the risk of injury of the arm thrower.

The comparison of the kinematics of the weight showed the absence of significant change of the gesture of throw during the use of a lightweight at the expert throwers. As a consequence, these results suggest that a weight of less important mass could be used for the training of the top athletes without degradation of the kinematics of the throw, so avoiding a musculo-scrawny overwork during the intensive phases of training and/or allow a faster return the gesture of the throw after injuries of the complex of the shoulder.

Cécile HUIBAN

Kinésithérapeute
INSEP
Master 2 IRHPM
Amiens (80)

Frank METAIS

Kinésithérapeute
INSEP
Paris

Daniel DINU

Ingénieur-chercheur
INSEP
Paris

Les auteurs déclarent ne pas avoir un intérêt avec un organisme privé industriel ou commercial en relation avec le sujet présenté

MOTS CLÉS | KEYWORDS

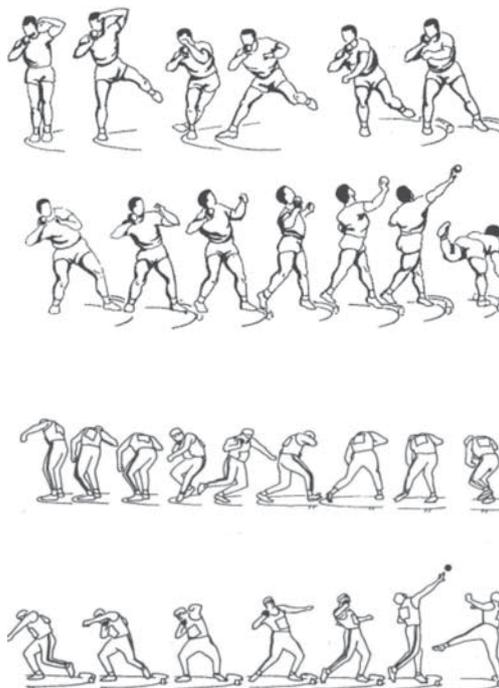
► Cinématique ► Performance ► Prévention ► Surmenage musculo-squelettique ► Technique du lancer du poids

► Kinematics ► Performance ► Prevention ► Musculo-skeletal overuse ► Technique of throwing a weight

Longtemps considéré comme une épreuve de puissance, le lancer du poids a développé des techniques propres. L'évolution du lancer de poids se caractérise par ces deux techniques : sursaut rasant départ de profil (technique en translation : fig. 1), ou sursaut rasant départ de dos (technique en rotation : fig. 2). La répartition des deux techniques est actuellement assez équilibrée.

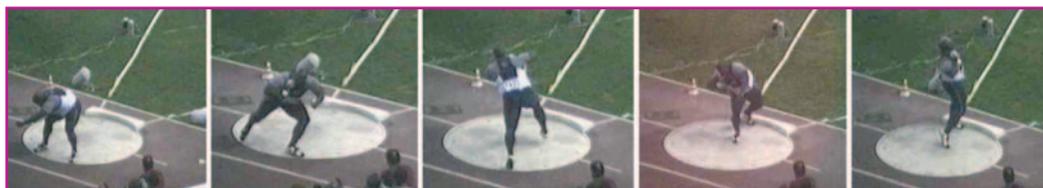
La performance dans les lancers, et en particulier le lancer du poids, dépend principalement des paramètres d'angle et de vitesse d'éjection de l'engin [1-3]. Le lanceur, placé dans les conditions réglementaires [4, 5], doit enchaîner des actions simultanées de rotation et translation afin de communiquer au système « lanceur-poids » dans un premier temps, puis au poids seul dans un second temps, à la plus grande vitesse possible [6, 7].

Chez des sportifs de haut niveau, chaque blessure remet en question leur qualification, et c'est pourquoi il est important de pouvoir leur apporter des solutions afin de revenir au plus vite à leur plus haut niveau d'expertise, et de prévenir ces surmenages musculo-squelettiques ou leur récurrence. En condition d'entraînement, de nombreux entraîneurs préconisent l'utilisation d'un poids plus



► Figures 1 et 2

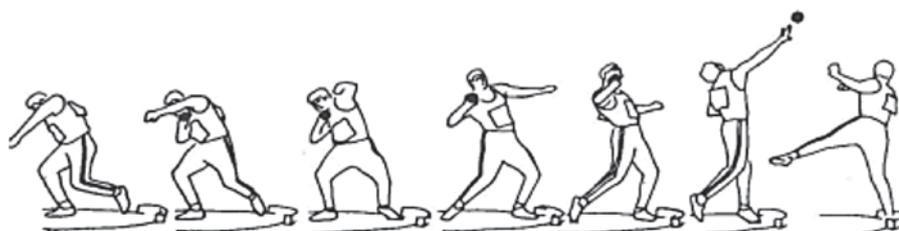
Deux techniques de lancer du poids :
en haut en translation, en bas en rotation
[extrait de www.entrainement-sportif.fr]



► **Figure 3**

Séquence des 5 phases clés du lancer en rotation

In: Aguado Jodar X, Lopez Elvira JL, Garcia del Canto J [Instituto nacional de educacion fisica de Leon - Spain].
Biomechanical analysis of shotput throw. CD-Rom



► **Figure 4**

Transfert d'énergie du bas vers le haut du corps

(extrait de www.entrainement-sportif.fr)

léger que celui utilisé en compétition senior (6 versus 7,26 kg). Néanmoins, aucune donnée expérimentale n'a démontré la pertinence de cette situation d'apprentissage.

Lancer avec un poids plus léger ne présente un intérêt que dans la mesure où il n'y a pas de modification importante des paramètres cinématiques et de l'organisation gestuelle du lancer [8-10]. Cette démarche aurait, de plus, pour objectif de limiter le risque de blessures liées à la surcharge mécanique induite par la répétition du geste du lancer.

BIOMÉCANIQUE DU LANCER EN ROTATION

D'un point de vue biomécanique, le lancer du poids en rotation est analysé suivant 5 phases clés (fig. 3) :

- la phase de départ en double appui ou phase préparatoire (Δt_{1da}) ;
- la phase de départ en simple appui ou mise sous tension (Δt_{1sa}) ;
- la phase aérienne ou phase de suspension (Δt_s) ;
- la phase finale en simple appui ou phase de poussée (Δt_{2sa}) ;
- la phase finale en double appui ou phase finale d'éjection (Δt_{2da}).

Le transfert du mouvement de rotation vers un mouvement linéaire demeure un exercice délicat de coordination pour le lancer en rotation. Cependant, c'est lors de ce transfert, couplé avec une coordination technique adaptée, que la réalisation des meilleures performances techniques et sportives devient possible [11]. Ce transfert entre le bas et le haut du corps donne alors au bras lanceur toute la force et la vitesse nécessaires pour éjecter le poids le plus loin possible (fig. 4).

PATHOLOGIES DU BRAS LANCEUR

D'après Coudreuse et Parier [12], les douleurs chroniques de l'épaule chez le sportif lanceur de poids sont fréquentes du fait des mouvements répétitifs d'armer et de lancer.

Les pathologies survenant au niveau de l'épaule sont de deux types : traumatiques survenant à l'occasion d'un accident aigu, qui ne seront pas traitées ici, et microtraumatiques, générées par une hyperutilisation de l'articulation.

Lors du lancer de poids en rotation, l'accélération terminale correspond à une rotation médiale, associée à une antépulsion rapide et explosive de l'épaule. Cette succession de contractions (concentrique, puis excentrique) est particulièrement agressive pour les structures musculo-tendineuses.

Un déséquilibre entre les muscles rotateurs médiaux et latéraux peut générer des pathologies de différents types : tendinopathies, conflits, et arthropathies acromio-claviculaires (fig. 5).

■ Tendinopathies et conflits

Il a récemment été démontré que le tissu tendineux est métaboliquement plutôt actif en réponse à l'activité musculaire. En effet, des contraintes chroniques paraissent augmenter la synthèse et dégradation du collagène du tendon humain [13].

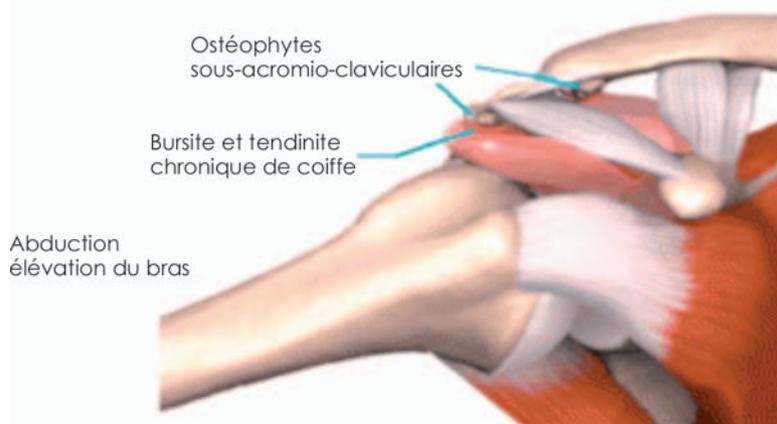
On connaît la fréquence chez les sportifs des tendinopathies liées à une surcharge en phase excentrique. Les mécanismes des lésions tendineuses traumatiques ou microtraumatiques sont au nombre de 3 : traction excessive (par surcharge ou surutilisation), conflit intrinsèque ou extrinsèque et, plus rarement, contusion [14].

Chez les sportifs lanceurs, il s'agit habituellement de tendinopathies des tendons extenseurs et biarticulaires liées à la surcharge en course externe et en mode de contraction excentrique.

Concernant le conflit sous-acromial, l'élévation antérieure, en particulier lorsque le membre supérieur se rapproche de la tête et qu'il existe une composante de rotation interne, met en contact les tendons de la coiffe, en particulier le supra-épineux, avec les structures sous-acromiales provoquant une agression mécanique. Ce contact est physiologique et normal si l'ensemble des tendons de la coiffe remplit son rôle de recentrage de la tête humérale sur la glène [15].

Plusieurs facteurs ont été évoqués comme susceptibles de rompre cet équilibre et créer un syndrome de conflit. Dans notre cas, nous retiendrons comme principales causes, la notion d'hyperutilisation de l'épaule mise en évidence par le potentiel pathogène de la répétition d'un geste donné, ainsi que les déséquilibres musculaires créant un défaut de recentrage de la tête humérale.

Les conflits sous-coracoïdiens, également retrouvés, surviennent souvent dans un contexte d'hypossollicitation chronique avec de nombreux microtraumatismes lors du maintien prolongé du bras en position d'antépulsion, adduction, et rotation interne [16].



► Figure 5

Le syndrome de conflit de coiffe ou *impingement*
(extrait de www.arthrosport.com)

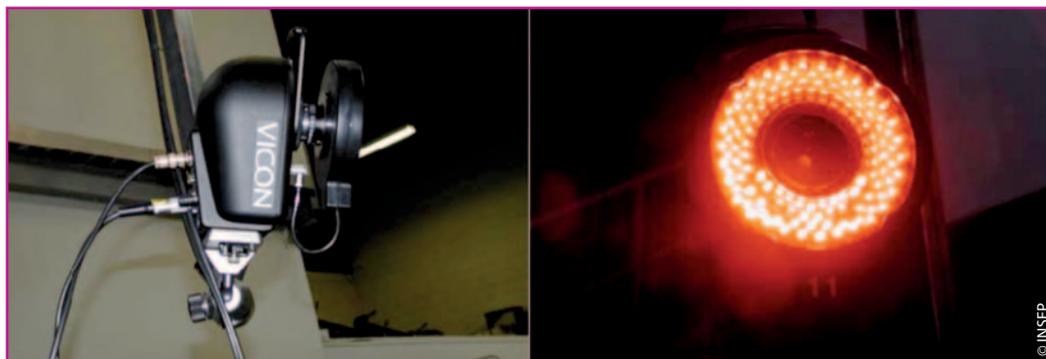
■ Rééducation actuelle

Les séances de rééducation fonctionnelle doivent être adaptées à l'origine biomécanique des troubles [17]. Actuellement, le traitement conservateur des tendinopathies s'avère complexe. Les approches thérapeutiques actives plus récentes cherchent à améliorer les capacités tensionnelles du tendon par l'application d'un programme actif. En 1986, les travaux de Stanish *et al.* introduisent le concept de travail excentrique [18].

Quelle que soit la technique utilisée, la progression du travail excentrique se base sur l'évolution de trois paramètres : l'augmentation progressive de la vitesse du mouvement réalisé, une majoration de l'intensité de la contraction, et une augmentation de l'amplitude articulaire du mouvement. Une majoration de l'intensité de la contraction sera concrètement réalisée par une augmentation de la charge sur le tendon lésé. Il est donc raisonnable de penser que l'utilisation d'un poids plus léger dans le lancer de poids permettrait de revenir favorablement après une blessure de type tendinopathie du complexe de l'épaule.

Concernant les conflits de l'épaule, il est fréquemment mis en évidence des déséquilibres musculaires du rapport entre les rotateurs médiaux et latéraux de l'épaule. Un travail de réharmonisation musculaire entre ces différents groupes musculaires doit donc être entrepris. Ici encore, plusieurs paramètres entrent en jeu dans ce travail de renforcement : l'amplitude du mouvement, la vitesse de contraction, le mode de contraction, et la résistance à la contraction. Ces différents paramètres doivent être augmentés de façon progressive. L'augmentation de la masse du poids pour le renforcement spécifique des lanceurs fait donc partie de la rééducation [13].

L'entraînement avec un poids léger : haute performance et prévention des risques musculo-squelettiques du complexe de l'épaule



► Figure 6

Illustration d'une V-Cam munie de son flash annulaire : l'ensemble des 6 caméras est disposé autour de la zone active. Les caméras sont reliées à une station centrale

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'optimisation des paramètres de vitesse et d'angle d'éjection du poids requiert obligatoirement chez le lanceur la maîtrise d'une gestuelle (ou habileté motrice) complexe exécutée dans l'espace restreint qu'est l'aire de lancer.

D'un point de vue fondamental, cette étude a un double objectif : d'une part analyser l'influence de la masse du poids (6 versus 7,26 kg) sur les paramètres cinématiques mesurés au cours du lancer du poids et, d'autre part mettre en évidence l'organisation globale propre au lanceur du poids en rotation [19, 20] à l'aide d'un modèle anthropométrique qui comporte un tronc polyarticulé. Ainsi, le geste du lancer du poids a été étudié à travers une analyse cinématique des 5 phases clés du mouvement.

La mise en relation de la cinématique du lanceur et de la cinématique de l'engin a pour objectif d'apporter des éléments de compréhension concernant les synergies mécaniques contribuant à optimiser le mouvement. Pour ce faire, nous avons analysé principalement l'évolution de deux centres de gravité particuliers :

- le centre de gravité du système lanceur-poids ;
- le centre de gravité du poids lui-même.

D'un point de vue pratique, cette étude permettra de répondre à cette question : peut-on employer un poids plus léger pour l'entraînement des lanceurs, même de haut niveau, sans dégradation de la technique gestuelle, dans le but de prévenir le surmenage musculo-squelettique, ainsi qu'utiliser ces poids plus légers pour favoriser le retour après blessure à la haute performance ?

MATÉRIEL ET MÉTHODE

■ Population

Cette étude a été réalisée sur un échantillon de 3 athlètes de niveau national. Les critères pris en compte dans la formation du groupe d'étude ont été la technique de lancer (en rotation) et la meilleure performance des lanceurs. Une fois l'échauffement terminé, 6 jets successifs valides sont retenus dans la même séance de mesure (3 avec un poids de 6 kg, et 3 avec un poids de 7,26 kg). Pour le traitement final des données, seuls les jets égaux à au moins 80 % de la meilleure performance individuelle sont retenus.

■ Techniques expérimentales

L'expérimentation a eu lieu au stade couvert de l'INSEP sur 3 lanceurs. L'environnement du plateau de lancer a été aménagé pour recevoir le dispositif opto-électronique d'analyse du mouvement en 3 dimensions (3D).

Le mouvement du lancer de poids nécessite une reconstruction en 3D. Pour ce faire, le système de capture du mouvement utilisé est le système Vicon 61235 permettant de suivre et d'enregistrer, au moyen de 6 caméras infrarouge VCam (résolution 300 000 pixels), les positions successives d'un ensemble de marqueurs sphériques rétro réfléchissants (passifs) (fig. 6).

Les marqueurs sphériques collés sur une combinaison en lycra permettent la reconstruction 3D de déplacements successifs du système poids-lanceur (fig. 7).

La mise en place des caméras (fig. 7) nécessite de bien définir le volume utile à mesurer selon le mouvement étudié, et de conserver un angle spatial minimum de l'ordre de 25° entre deux caméras. Chaque marqueur doit être vu par au moins deux caméras pour pouvoir reconstruire sa trajectoire en 3D.

La mise en place d'une modélisation multiségments de l'athlète (15 segments) et la mesure des déplacements 3D des points articulaires caractéristiques du modèle anthropométrique permettent le calcul de la trajectoire du centre de gravité total du système lanceur-poids (fig. 8).

Chaque segment corporel est modélisé par un solide rigide dont les caractéristiques d'inertie se rapprochent au mieux des valeurs réelles. Pour ce faire, nous avons choisi les tables anthropométriques de Mollard [21] qui repose sur une analyse en 3D par photogrammétrie sur l'être vivant.

RÉSULTATS

La figure 9 montre que, durant les deux premières phases, les deux vitesses (V_{poids} et V_{cg} système athlète-poids) comportent un patron similaire, suivi d'une opposition de phase lors des temps de suspension et de la phase finale en simple appui. La phase d'éjection est caractérisée par une augmentation marquée de la vitesse du poids.

L'opposition des phases constatée entre les deux normes des vitesses (une hausse de la vitesse du CG et une relative diminution de la vitesse du poids) durant la période qui précède l'éjection du poids, nous permet de faire l'hypothèse d'un transfert de quantités de mouvement entre l'athlète et l'engin [9].

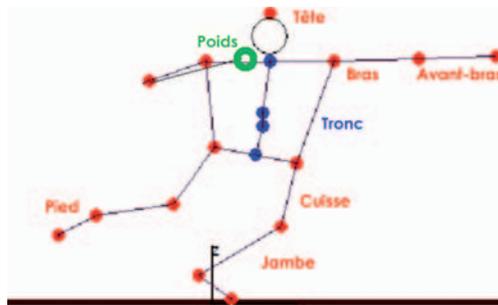
L'évolution des vitesses du poids d'un jet représentatif réalisé avec les deux conditions de masse (6 *versus* 7,26 kg), est illustrée par la figure 10 (page suivante). L'examen global de l'évolution de la vitesse du poids dans chaque condition (6 *versus* 7,26 kg) ne montre pas, à priori, de modification importante du patron cinématique du poids pour les deux conditions de masse. Cependant, nous pouvons distinguer les variations suivantes :

- au début de la phase Δt_{2sa} , les valeurs des vitesses du poids sont égales (les deux courbes se croisent) pour les deux conditions de masse. En revanche, cette phase finale en simple appui



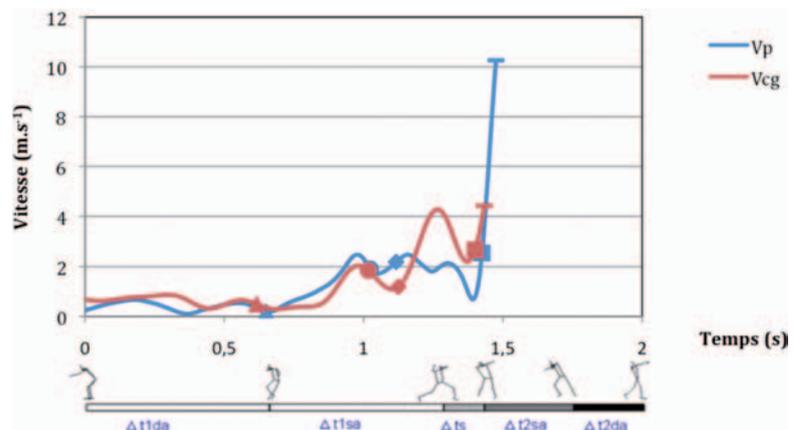
► Figure 7

Dispositif des 6 caméras du système Vicon autour de la zone active



► Figure 8

Modèle multicorps du système lanceur-poids



► Figure 9

Mise en relation entre la vitesse du centre de gravité du système lanceur-poids et la vitesse du poids

Δt_{1da} : phase de départ en double appui

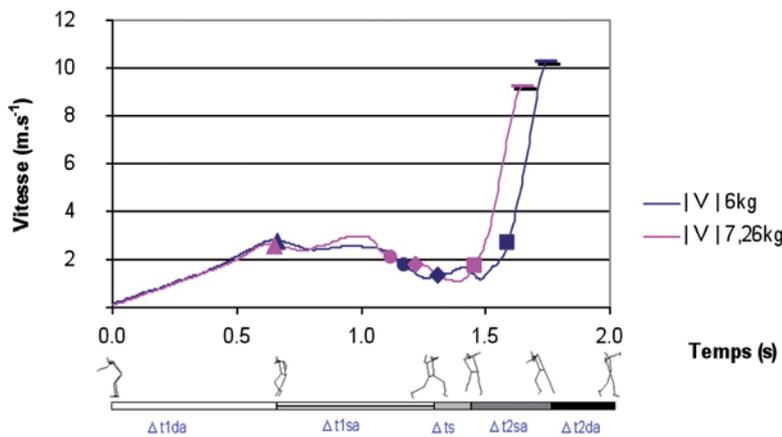
Δt_{1sa} : phase de départ en simple appui

Δt_s : phase aérienne

Δt_{2sa} : phase finale en simple appui

Δt_{2da} : phase finale en double appui

L'entraînement avec un poids léger : haute performance et prévention des risques musculo-squelettiques du complexe de l'épaule



► **Figure 10**

Évolution de la vitesse du poids pour un jet réalisé avec les deux conditions de masse (6,00 *versus* 7,26 kg) au cours des différentes phases du lancer
 $\Delta t1da$: phase de départ en double appui
 $\Delta t1sa$: phase de départ en simple appui
 Δts : phase aérienne
 $\Delta t2sa$: phase finale en simple appui
 $\Delta t2da$: phase finale en double appui

présente une durée légèrement plus importante pour le poids léger. De plus, la vitesse de celui-ci apparaît plus élevée au cours de la dernière phase du lancer ;

- la valeur de la vitesse d'éjection apparaît donc plus élevée lors des lancers effectués avec un poids léger (9,83 m.s⁻¹ *versus* 9,30 m.s⁻¹).

TRAITEMENT STATISTIQUE

Pour le traitement statistique, nous avons utilisé un test non paramétrique, étant donné le faible nombre de lanceurs. Les résultats sont exprimés sous forme de moyennes et d'écart types.

Une analyse de variance à mesures répétées (ANOVA de Friedman) permet d'identifier un éventuel effet de la masse du poids (6 *versus* 7,26 kg) pour les différentes variables vitesse et temps au cours du lancer, ainsi qu'un possible effet phase. Le seuil significatif a été fixé à $p < 0,05$.

Les différents paramètres cinématiques du poids ont été testés statistiquement par une analyse de variance à mesures répétées (ANOVA de Friedman). Deux types de paramètres ont été vérifiés à l'aide de cette analyse : l'effet de la masse, et l'effet phase sur la vitesse de l'engin et sur la durée des phases.

- « Pas d'effet masse sur la vitesse » montre qu'il n'y a pas d'effet de la masse du poids sur la vitesse de

l'engin au cours des différentes phases du mouvement du lancer ($p = 0,45$).

- « Effet phase sur la vitesse » montre qu'il y a un effet des phases sur la vitesse du poids au cours du lancer ($p = 7,9 \cdot 10^{-15}$). Les phases influencent sa vitesse de manière significative.
- « Effet masse sur le temps » montre qu'il n'y a pas d'effet de la masse du poids sur la durée des phases ($p = 0,86$).
- « Effet phase sur le temps » montre qu'il y a un effet des phases sur la durée totale du mouvement ($p = 4,4 \cdot 10^{-16}$).

DISCUSSION DES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE

Les résultats montrent que, quelle que soit la masse du poids (6 *versus* 7,26 kg), l'allure générale de l'évolution de la norme de la vitesse du poids au cours des 5 phases n'est pas modifiée. Cependant, comme pour le lancer de disque, nous constatons une tendance à la hausse concernant les valeurs de vitesse d'éjection du poids qui sont supérieures avec l'engin de 6 kg. Cette différence semble liée à un gain de vitesse dans la phase finale de double appui qui est plus important avec le poids plus léger. Néanmoins ces observations ne se vérifient pas statiquement.

De plus, ceci ne se vérifie pas pour les valeurs de vitesse d'éjection, et donc pour la performance recalculée qui sont supérieures avec l'engin de 6 kg. Ce dernier résultat montre que la vitesse du geste de lancer n'est pas maximale avec un poids de 7,26 kg chez nos sujets. En effet, nous trouvons que les valeurs des vitesses d'éjection sont plus importantes pour les jets effectués avec un poids léger. Ainsi, la portée du jet semble plus importante pour le poids de 6 kg conformément avec les données de la littérature [22-27].

DISCUSSION SUR LA RÉÉDUCATION ET PRÉVENTION DES TROUBLES MUSCULO-SQUELETTIQUES DU BRAS LANCEUR

Les séances de rééducation fonctionnelle doivent être adaptées à l'origine biomécanique des troubles.

Sur le plan pratique, les résultats de la présente étude suggèrent qu'un poids plus léger pourrait être employé pour l'entraînement des lanceurs de haut niveau, sans dégradation cinématique du lancer. Pour un retour de blessure, l'utilisation d'un poids léger lors de l'entraînement pourrait alors diminuer les contraintes mécaniques de la charge, et donc être utilisé en rééducation pour prévenir le surmenage musculo-squelettique.

Il a été démontré que l'exercice sous-maximal lutte contre les tendances dégénératives du tendon par une augmentation de la teneur en fibres de collagène et/ou par la diminution de la néovascularisation [28].

Concernant la rééducation des tendinopathies et la progression du travail excentrique, elle nécessite une majoration de l'intensité de la contraction réalisée par une augmentation de la charge sur le tendon lésé, et donc l'utilisation d'un poids de plus en plus lourd.

Les programmes de rééducation ciblés sur l'analyse et la correction du conflit sous acromial visent à protéger le tendon du long biceps ainsi que le sus-épineux grâce à une reprogrammation neuromusculaire spécifique des muscles longs abaisseurs.

De plus, pour éviter un nouveau conflit, un travail de réharmonisation musculaire entre les différents groupes musculaires de la coiffe des rotateurs doit être entrepris par l'augmentation de la masse du poids pour le renforcement spécifique des lanceurs [13].

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette étude a permis de montrer que, quelle que soit la masse du poids, l'évolution de la norme de sa vitesse au cours des 5 phases du mouvement n'est pas modifiée, hormis une tendance à la hausse de la vitesse d'éjection, avec le poids léger de 6 kg.

Une analyse segmentaire des différentes parties du corps permettrait de comprendre les transferts d'énergie entre le bas et le haut du corps afin d'optimiser la vitesse d'éjection du poids.

L'entraînement induit des modifications biochimiques au sein du tendon qui peuvent être délétères si les séances de lancers sont trop rap-

prochées, le catabolisme devenant alors majoritaire. L'hypertrophie tendineuse et l'augmentation de la résistance mécanique du tendon résultent alors d'un exercice régulier et progressif. C'est pourquoi il est important, tant dans l'entraînement que dans le retour après blessure et en rééducation, d'augmenter régulièrement les charges en commençant avec un poids léger tel qu'il est classiquement admis.

De plus, selon les périodes de la saison, en phase d'affutage juste avant une compétition ou lors d'une phase d'apprentissage technique, il est nécessaire de répéter de nombreuses fois le geste ; un poids plus léger permettrait alors de répéter le geste sans contraindre de façon excessive le complexe de l'épaule de l'athlète.

Enfin, dans notre étude, les électromyogrammes auraient pu nous permettre de mettre en évidence les éventuelles différences entre les deux valeurs de masse de poids (6 *versus* 7,26) concernant la chronologie des actions musculaires, ainsi que le niveau d'activation électrique des muscles. ✕

Bibliographie page suivante



BIBLIOGRAPHIE

- [1] Lanka J. Shot putting. In: Zatsiorsky VM (ed) *Biomechanics in sport, performance enhancement and injury prevention*. Oxford: Blackwell Science, 2000 : 435-57.
- [2] Chow JW, Mindock LA. Discus throwing performances and medical classification of wheelchair athletes. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31(9):1272-9.
- [3] Chow JW, Chae WS, Crawford MJ. Kinematic analysis of shot putting performed by wheelchair athletes of different medical classes. *Journal of Sports Sci* 2000;32(5):321-30.
- [4] IAAF. *Le Juge-arbitre - The Referee*. Paris : Association des entraîneurs français d'athlétisme, 1994 (traduit par Robert et Denise Blanchet).
- [5] IAAF. *Manuel 2005-2006*.
- [6] Dapena J. (1978) A method to determine the angular momentum of a human body about three orthogonal axes passing through its center of gravity. *Journal of Biomechanics* 1978;11:251-6.
- [7] Bartlett RM. The biomechanics of the discus throw. *Journal of Sports Sci* 1992;10:467-510.
- [8] Dinu D, Natta F, Vandewalle H. Étude des paramètres cinématiques du lancer de disque : influence du niveau d'expertise dans les différentes phases du lancer. *Science et Motricité* 2003;19:189-92.
- [9] Dinu D, Levêque JM, Natta F, Vandewalle H, Portero P. Évolution de paramètres cinématiques et électromyographiques pendant les différentes phases du lancer de disque : étude préliminaire. *Science et Sport* 2004;19: 189-92.
- [10] Dinu D, Natta F, Vandewalle H, Portero P. *Utilisation d'un disque plus léger à l'entraînement altère-t-elle la technique gestuelle ?* Actes du Congrès de l'ACAPS - Paris, 2005.
- [11] Jonath U, Krempel R, Haag E, Müller H. *Leichtathletik 3: Werfen und Mehrkampf*. Reinbek: Rowohlt Taschenbuch Verlag, 1995.
- [12] Coudreuse JM, Parier J. Pathologies du lancer : l'épaule et le coude. *Rev Méd Sport* 2003;13 :15-27.
- [13] Perrey S. Lien entre compliance tendino-musculaire et performance de la fonction musculaire. In: Julia M, Hirt D, Croisier L (eds.) et coll. *Tendon, et jonction tendino-musculaire. De la biomécanique aux applications thérapeutiques*. Issy-les-Moulineaux : Éditions Elsevier-Masson, 2011 : 64-9.
- [14] Bard H, Vandenbussche E, Cohen M, Augereau B. Physiopathologie des tendinopathies de la coiffe des rotateurs. In: Rodineau J, Rolland E (eds) *Pathologie intra et péri-tendineuse du membre supérieur des sportifs*. Issy-les-Moulineaux : Éditions Masson, 2006 : 3-15.
- [15] Nové-Josserand L, Noël E. (2006), Conflits sous-acromiaux : actualités thérapeutiques, démembrement. In: Rodineau J, Besch S (eds) *Les conflits du membre supérieur chez le sportif*. Issy-les-Moulineaux : Éditions Elsevier-Masson, 2006 : 103-13.
- [16] Graveleau N, Barth J. Conflits sous-coracoïdiens. In: Rodineau J, Besch S (eds) *Les conflits du membre supérieur chez le sportif*. Issy-les-Moulineaux : Éditions Elsevier-Masson, 2006 : 97-102.
- [17] Peyre M, Falda M, Journet G, Jollivet J, Groc M, Perrier D. (2006) Souffrance de la coiffe des rotateurs : place et modalités pratiques de la rééducation fonctionnelle. In: Rodineau J, Rolland E (eds) *Pathologie intra et péri-tendineuse du membre supérieur des sportifs*. Issy-les-Moulineaux : Éditions Masson, 2006 : 95-108.
- [18] Forthomme B, Kaux JF, Crielaard JM, Croisier JL. Programme excentrique et tendinopathie : quels outils, quel programme ? In: Julia M, Hirt D, Croisier L (eds.) et coll. *Tendon, et jonction tendino-musculaire. De la biomécanique aux applications thérapeutiques*. Issy-les-Moulineaux : Éditions Elsevier-Masson, 2011 : 91-8.
- [19] Hay JG, Barry DW, Dapena J. A computational technique to determine the angular momentum of human body. *Journal of Biomechanics* 1977;10:269-77.
- [20] Dapena J. *An analysis of angular momentum in the discus throw*. 14th International congress of biomechanics - Paris (France), 1993 : 306-7.
- [21] Mollard R. *Apport de la biostéréométrie dans la modélisation du corps humain : aspects statistiques et dynamiques*. Thèse de doctorat - Université René Descartes Paris V, 1987.
- [22] Taylor JM. Behaviour of the discus in flight. *Athletic Journal* 1932;12: 9-10, 44-7.
- [23] Cooper I, Dalzell D, Silverman E. *Flight of the discus*. Division of Engineering science E.Sc. 472. Lafayette: Purdue University, 1959.
- [24] Samozwetow A. Diskus und wind. *Der Leichtathletik Trainer* 1960;2: 407-10.
- [25] Ganslen RV. Aerodynamic and mechanical forces in discus flight. *Athletic Journal* 1964;12:44-50.
- [26] Voigt H. Wirkungen der Luftkräfte auf die Flugweite beim diskuswurf. *Der Leibeserziehung* 1972;21:319-26.
- [27] Tutjowitsch VN. Theorie des sportlichen werfe teil 1. *Leistungssport* 1976;7:1-161.
- [28] Ohberg L, Alfredson H. Effects on neovascularisation behind the good results with eccentric training in chronic mid-portion Achilles tendinosis? *Knee Surg Sports Traumatol Arthr* 2004;465-70.