

Evaluation de la force explosive du membre inférieur chez les escrimeurs et nageurs

Fahima LAMMARI *, Hakim HARITI*, Raphael MASSARELLI**

**Université Alger 3, Laboratoire de Sciences et Pratiques des Activités Physiques, Sportives et Artistiques (SPAPSA), Bp/A19,16832, Zéralda, Algeria ; ** Université Claude Bernard Lyon 1, Centre de Recherche et d'Innovation sur le Sport (CRIS, EA 647), 69622 Villeurbanne cedex, France*

Résumé : Dans ce chapitre nous présenterons un compte rendu d'une recherche de terrain sur les facteurs qui influencent le saut vertical des athlètes de haut niveau. La détente verticale permet justement d'évaluer de manière très simple la puissance, l'explosivité, les propriétés élastiques du membre inférieur et même la fatigue musculaire. De ce fait l'objectif de l'étude a été d'évaluer le niveau de développement des paramètres puissance, explosivité et élasticité musculaire chez ces athlètes de haut niveau. Pour ce faire nous avons un échantillon de 41 athlètes de haut niveau des deux sexes âgés de 15 ans à 29 ans répartis sur deux disciplines sportives : natation sportive et escrime. Le saut vertical a été enregistré à partir de trois tests (squat jump (SJ), contre mouvement jump (CMJ) et saut de réactivité) à l'aide du Myotest Pro. Les principaux résultats obtenus montrent que la taille et le poids corporel n'ont aucune relation significative avec le saut vertical, le saut vertical pour les athlètes masculins est plus haut que pour leurs homologues féminins, toutefois les escrimeurs présentent les paramètres de puissance, force et vitesse plus élevés certainement liés aux caractéristiques de la discipline.

Mots-clés : *puissance, explosif, nageurs, escrime, squat jump, contre mouvement jump, réactivité.*

Introduction

Le renforcement musculaire est devenu aujourd'hui une composante incontournable dans la préparation des sportifs de haut niveau.

L'introduction de la musculation dans le cadre de la préparation physique générale (PPG) des escrimeurs, nageurs et autres sportifs, apparaît aujourd'hui non seulement indispensable, mais elle doit en plus dépasser ce cadre, en précisant les contenus d'une musculation répondant mieux à la spécificité des contraintes musculaires de la discipline sportive en l'occurrence l'escrime moderne et la natation. Dès lors la question se pose de savoir quelles sont les qualités musculaires qu'il faut développer. Des analyses vidéos avec reconstitution en 2D réalisée sur des assauts en escrime et les départs en natation, ont permis de confirmer ce que l'observation de terrain suggérait, à savoir que les qualités d'explosivité de la force exprimée à grande vitesse sont déterminantes pour l'efficacité technique de ces derniers.

La détente verticale permet justement d'évaluer de manière très simple la puissance, l'explosivité, les propriétés élastiques du membre inférieur et même la fatigue musculaire.

Il est prouvé que la pratique régulière des départs et virages exerce une influence positive sur la performance finale des nageurs, particulièrement pour le sprint (Blanksby, 2002). Une augmentation de la puissance musculaire des membres inférieurs aura un effet positif sur la performance (Breed et al., 2003 ; Morin et al., 2003), surtout lorsqu'elle est combinée à un angle peu élevé à l'entrée du corps dans l'eau, soit près de 20 degrés. Avec cette entrée dans l'eau, le nageur devra profiter de

sa vitesse verticale le plus longtemps possible avant de débiter les mouvements de ses bras. La puissance du membre inférieur sommairement évaluée à l'aide du saut vertical, permet à l'entraîneur de natation de savoir qu'un nageur qui obtient une grande puissance en watts aura un meilleur temps dès le départ, soit les cinq premiers mètres. La puissance musculaire d'un nageur lui permettra d'accroître la force élastique de ses muscles et sa capacité de conduction nerveuse d'une position statique vers une position dynamique.

Cette interaction a été étudiée chez des nageurs de l'Université de Ballarat, en Australie (Breed et Young, 2003); elle indique que, suite à un entraînement des membres inférieurs à l'extérieur de la piscine, les athlètes ont réalisé une amélioration aux différents tests, particulièrement à celui du saut vertical. Par contre, cette amélioration n'a pas été transférée totalement dans l'amélioration des départs; l'auteur indique des améliorations significatives pour le temps de réaction, l'angle d'envol et l'impulsion de départ.

Une autre étude (Morin et al., 2003) démontre clairement que la puissance musculaire, avec ses composantes de force et de vitesse, est un déterminant de la performance en phase d'accélération. Il est donc dans l'intérêt des entraîneurs de travailler la puissance des membres inférieurs.

Les données scientifiques relatives à l'escrime de compétition sont concentrées particulièrement sur le traitement de l'information, c'est-à-dire temps de réaction, précision, etc. (Hetlinski et Pickens, 1973; Pierson, 1956; Singer, 1968) et sur certaines caractéristiques morphologiques et physiologiques (Stewart et al., 1977; Lavoie et al., 1984).

Peu d'études scientifiques pour ne pas dire inexistantes ont porté sur les escrimeurs et nageurs algériens.

Le but de cette étude était d'évaluer le niveau de développement des paramètres hauteur, puissance, explosivité et élasticité musculaire du membre inférieur chez ces athlètes de haut niveau (escrimeurs et nageurs).

1. Méthodologie

1.1. Population

Vingt et un athlètes masculins et vingt athlètes féminins ont participé à cette étude. Les participants étaient des athlètes de l'équipe nationale pour la natation et pour l'escrime la majorité des athlètes s'entraînent avec le club GSP. Les âges se sont étendus chez les escrimeurs (masculins : 15 à 29 ans, féminins : 14 à 25 ans) et chez les nageurs (masculins : 18 à 25 ans, féminins : 22 à 29 ans). L'indice de masse corporelle a été calculé par kg/m^2 .

1.2. Matériel

Le Myotest® est un dynamomètre inertiel qui permet d'évaluer le niveau de performance musculaire d'un athlète en calculant la puissance, la force et la vitesse d'un geste sportif, ainsi que la mesure de la hauteur de saut (en cm) et le temps d'envol (en ms), la réactivité et la stiffness (ou rigidité musculaire en kN/m) pour le test de saut de réactivité.

L'avantage de cet appareil de mesure est la maniabilité et la facilité d'utilisation pour les tests. Le boîtier s'attache au niveau du bassin grâce à une ceinture velcro après avoir rentré la valeur du poids de la personne testé. Il est possible de régler le nombre de sauts que l'on veut pour notre étude. A la fin du test, l'appareil calcule une moyenne des sauts pour les différentes valeurs. Il est aussi possible d'évaluer sur ordinateur chaque saut en particulier grâce à l'enregistrement par l'accéléromètre.

Le Myotest Pro ® est aujourd'hui très utilisé dans le milieu du sport de haut niveau pour évaluer les qualités physiques des athlètes. Des études récentes ont démontré sa validité et sa fiabilité (Bampouras TM., et al. 2010). Une étude a cependant montré que seuls certains paramètres évalués par l'appareil étaient valides, comme le temps de saut, alors que d'autres ne l'étaient pas, comme la vitesse de décollage (Casartelli N., et al. 2010). Aucune étude à ce jour n'a cependant montré la fiabilité de la variable réactivité.

1.3. Protocole de test

Les sujets ont tous réalisé le test selon le même protocole. Ils ont réalisés auparavant un échauffement de 5 minutes basé sur des flexions / extensions utilisées lors du test de Ruffier-Dickson.

Après avoir entré les données personnelles (âge, sexe), anthropométriques (poids, taille) et les antécédents (traumatismes ou interventions au niveau des membres inférieurs) sur une fiche d'investigations, les sujets ont réalisé trois sauts successifs d'entrainements afin qu'ils puissent se familiariser avec les tests. L'essai a permis d'évaluer la compréhension de la consigne donnée : « Au bip, sautez le plus haut et/ou le plus rapidement possible en gardant vos mains sur les hanches ».

L'obligation de laisser les mains sur les hanches permet de ne prendre en compte que la participation des membres inférieurs sans l'influence des bras annulant ainsi la coordination et donc l'aide possible. Le matériel est systématiquement placé à droite du sujet, sur la ceinture velcro située au niveau de la hanche, après avoir rentré le poids de celui-ci.

Le sujet réalise cinq sauts bipodaux enchainés à partir du bip initial de l'appareil. Pour la réalisation du test, tous sont habillés en short et T-shirt et chaussés avec des chaussures de sport type running.

A la fin, les valeurs moyennes des différentes variables (hauteur, temps de contact, réactivité, rigidité musculaire) affichées par l'appareil sont relevées et insérées dans le logiciel Excel®.

Test du saut vertical :

- **Squat jump (SJ) :** Sans contre mouvement (mains sur les hanches, genoux à 90°, Regard au loin, Position maintenue 2-3 s. Extension rapide des membres inférieurs. Saut vertical le plus élevé possible. Atterrissage équilibré, Debout, Au point de départ.

- **Contre mouvement jump (CMJ):** Départ en position debout (jambes tendues, regard au loin, flexion-extension (90°) rapide et enchainée des jambes. Saut vertical le plus élevé possible. Atterrissage équilibré, dans la position initiale.

- **Saut de réactivité (SR):** Il s'agit d'exécuter 6 sauts enchainés sans pause, avec les genoux bloqués. On retient la hauteur moyenne des sauts.

La hauteur de saut (en cm) et le temps de contact au sol (en ms) sont les deux performances spécifiquement recherchées lors du test. Ces valeurs renseignent sur la capacité du sujet à rebondir donc à réagir rapidement lors du contact du pied avec le sol. Le sujet doit être capable de sauter le plus haut possible avec un temps de contact au sol court. Cela se traduit par la variable réactivité : plus la personne saute haut avec un temps de contact faible plus l'indice de réactivité est important. C'est pourquoi seule cette variable est prise en compte car elle évalue, à elle seule, deux variables.

La réactivité mesurée par le test n'est pas spécifique à l'articulation de la cheville mais porte sur l'ensemble du membre inférieur. Le stimulus décrit dans la nouvelle

définition de la réactivité (Sheppard JM. et Young WB. 2006) est ici le contact au sol.

Le nombre de sauts a été choisi afin de pouvoir établir une valeur moyenne significative de la réactivité sans faire intervenir l'aspect de fatigue avec un trop grand nombre de répétitions. De plus, l'absence du logiciel permettant une analyse spécifique de chaque saut, n'a pas permis de comparer les résultats obtenus et ainsi mettre en évidence une diminution de réactivité lors des derniers sauts en lien avec l'apparition de la fatigue musculaire. C'est pour cela que seule la valeur moyenne, affichée par l'appareil à la fin des sauts, a été prise en compte.

1.4. Analyse statistique

Les résultats seront analysés par le logiciel excel (moyenne, écart type, t student ainsi que le pourcentage)

2. Résultats

La taille et le poids corporel n'ont aucune relation significative avec le saut vertical. .

2.1. Présentation des Valeurs descriptives des différents paramètres lors du saut squat jump chez les nageurs et escrimeurs garçons (G) et filles (F)

Le tableau 1, permet de visualiser la moyenne, l'écart type, l'étendue et les différences à $p < 0,05$ (t student), des différentes variables (hauteurs, puissance, force et vitesse) lors du saut squat jump (SJ) obtenues dans chaque groupe de sport masculins et féminins.

D'après les résultats, Le saut vertical pour les athlètes masculins est plus haut que pour leurs homologues féminins, les nageurs sautent plus haut que les escrimeurs, (+3,19cm chez les masculins et +4,30cm chez les féminines).

Tableau 1: Valeurs descriptives des différents paramètres lors du saut squat jump chez les nageurs et escrimeurs garçons (G) et filles (F).

Squat jump		SJ nageur G	SJ escrime G	SJ nageur F	SJ escrime F
Hauteur (cm)	Moyenne± SD	35,40±3,00	32,21±4,95	28,60±5,26	24,30±4,03
	Min-Max	28,00-41,00	23,30-39,00	23,20-36,90	18,70-32,10
	T student	p<0,05		p<0,05	
Puissance (W/kg)	Moyenne± SD	42,45±5,47	44,30±6,52	34,11±3,63	36,15±5,30
	Min-Max	34,20-51,80	34,80-53,40	29,40-38,80	28,80-44,80
	T student	NS		NS	
Force (N/kg)	Moyenne± SD	21,79±2,16	22,47±2,17	20,40±1,45	21,57±2,50
	Min-Max	18,60-26,20	19,60-26,90	18,00-22,30	17,50-26,00
	T student	NS		NS	
Vitesse (cm/s)	Moyenne± SD	238,71±21,01	241,00±22,36	207,43±13,59	208,90±16,92
	Min-Max	208-273	208-277	196-230	181-240
	T student	NS		NS	

Le t student présente des différences significatives à $p < 0,05$ aussi bien chez les garçons que chez les filles, pour la hauteur de saut uniquement. Aucune différence significative n'a été enregistrée pour les trois autres paramètres, même si les escrimeurs présentent les paramètres de puissance, force et vitesse les plus élevés. Ces résultats sont certainement liés aux caractéristiques de la discipline.

2.2. Présentation de la hauteur de saut lors du Contre Mouvement Jump (CMJ)

Le tableau 2, permet de visualiser la moyenne et écart l'écart type, l'étendue et les différences à $p < 0,05$ (t student), des différentes variables (hauteurs, puissance et vitesse) lors du saut contre mouvement jump (CMJ) obtenues dans chaque groupe de sport pour les deux sexes.

Tableau 2 : Présentation de la hauteur de saut lors du Contre Mouvement Jump (CMJ)

		CMJ nageur G	CMJ escrime G	CMJ nageur F	CMJ escrime F
Hauteur Cm	Moyenne± SD	35,40±3,00	36,10±6,97	30,23±4,79	27,58±4,50
	Min-Max	32,50-49,90	21,10-44,90	25,60-38,60	21,50-35,20
	T student	NS		NS	
Puissance W/kg	Moyenne± SD	42,96±6,96	44,30±6,52	34,11±3,63	36,15±5,30
	Min-Max	23,50-52,80	25,00-56,20	26,20-45,20	30,00-44,40
	T student	$p < 0,05$		$p < 0,05$	
Vitesse cm/s	Moyenne± SD	243,64±16,99	254,20±44,56	206,43±32,88	229,20±18,18
	Min-Max	218-279	179-300	167-254	194-251
	T student	NS		$p < 0,05$	

Contrairement au saut (SJ), les nageurs (pour les deux genres) possèdent une hauteur de saut au CMJ légèrement inférieure (0,70cm) à celle des escrimeurs avec des écarts pouvant atteindre 17,4cm vs 23,8cm. Alors que chez les filles, les nageuses sautent plus haut (2,65cm) que les escrimeuses, mais les écarts entre individus se rapprochent (13cm vs 13,7).

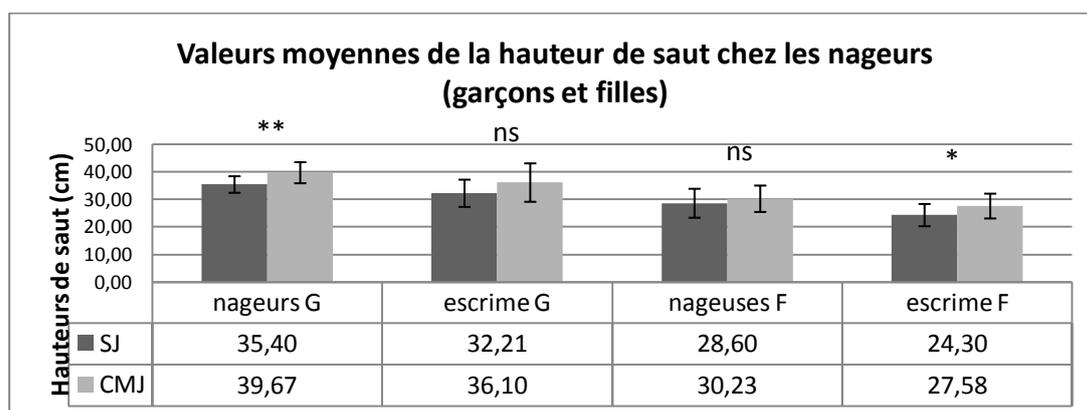
Aucune différence significative n'a été enregistrée pour la hauteur de saut. Des différences significatives ($p < 0,05$) sont relevées pour le paramètre de puissance pour les deux sexes et uniquement chez les filles pour la vitesse.

2.3. Présentation des Valeurs descriptives de la hauteur du saut du Squat Jump (SJ) et du contre Mouvement Jump (CMJ) chez les nageurs et escrimeurs garçons et filles.

Le diagramme (figure 1) réalisé à l'aide du logiciel Excel© permet de visualiser la moyenne et les écarts types des sauts en (SJ) et (CMJ) obtenues dans chaque groupe. Les deux groupes de sportifs ont des valeurs de sauts en CMJ supérieures au SJ

(+4,27cm nageurs représentant une progression de 11,86%, de + 3,89cm soit 12,08% pour les escrimeurs, +1,63cm soit 5,39% seulement pour les nageuses et +3,28cm soit 11,89% pour les escrimeuses). Le t student a permis de mettre en évidence des différences significatives pour le groupe des nageurs $p < 0,01$ et des escrimeuses $p < 0,05$.

Figure 1 : Valeurs moyennes et écarts types de la hauteur de saut pour le Squat Jump (SJ) et en Contre Mouvement Jump (cm) pour les nageurs et escrimeurs garçons (g) et filles (F).



2.4. Présentation des Valeurs descriptives des différents paramètres lors du saut de réactivité chez les nageurs et escrimeurs garçons et filles

Les escrimeurs sont plus réactifs que les nageurs nous relevons des différences significatives à $p < 0,05$ pour les deux sexes. Les garçons sont plus réactifs que les filles.

Tableau 3 : Valeurs descriptives des différents paramètres lors du saut de réactivité chez les nageurs escrimeurs garçons (G) et filles (F).

Réactivité		SJ nageur G	SJ escrime G	SJ nageur F	SJ escrime F
Hauteur (cm)	Moyenne± SD	33,28±5,75	31,55±5,86	24,21±4,01	24,42±4,05
	Min-Max	21,50-41,50	20,10-41,50	17,60-30,00	18,40-29,40
	T student	NS		NS	
Temps de contact (ms)	Moyenne± SD	166,69±25,20	141,40±16,98	152,29±19,62	137,90±12,75
	Min-Max	128-207	117-168	134-188	112-155
	T student	$p < 0,05$		$p < 0,05$	
Réactivité	Moyenne± SD	3,15±0,42	3,56±0,41	2,87±0,35	3,20±0,19
	Min-Max	2,59-4,01	3,09-4,31	2,54-3,32	2,82-3,46
	T student	$p < 0,05$		$p < 0,05$	

Les résultats représentent les données brutes de la hauteur exprimées en centimètres, lors de l'exécution des sauts verticaux (squat jump vertical) chez les deux groupes de

sujets. Les valeurs statistiques ont été obtenues avec le t de student, la limite de probabilité a été fixée à 0,05. * $p < 0,05$.

Grâce au temps de contact qui est largement inférieur pour les escrimeurs (masculins) avec des extrêmes allant de 117-168ms contre 128-207ms pour les nageurs. On retrouve la même tendance chez les féminines avec un temps d'envol allant de 122-155ms pour les escrimeuses et 134-188ms pour les nageuses.

Là aussi nous relevons des différences significatives à $p < 0,05$ pour les garçons ainsi que pour les filles. Le t de student réalisé sur la hauteur ne montre pas de différences significatives pour la hauteur.

3. Discussions

Le but de cette étude était d'évaluer le niveau de développement des paramètres hauteur, puissance, explosivité et élasticité musculaire du membre inférieur chez ces athlètes de haut niveau (escrimeurs et nageurs).

Pour le saut squat jump (SJ) et le contre mouvement jump (CMJ), les nageurs présentent de meilleures performances. Le départ plongé permet de reprendre la nage avec une vitesse optimale. L'amplitude et la fréquence permettent de nager avec une vitesse adaptée aux ressources du nageur aussi bien en crawl qu'en dos. Le virage devient un moyen de recréer une vitesse conséquente. On note clairement que la puissance des membres inférieurs a un lien direct avec la performance. Celle-ci, sommairement évaluée à l'aide du saut vertical, permet à l'entraîneur de natation de savoir qu'un nageur qui obtient une grande puissance en watts aura un meilleur temps dès le départ dans les cinq mètres. La puissance musculaire d'un nageur lui permettra d'accroître la force élastique de ses muscles et sa capacité de conduction nerveuse d'une position statique vers une position dynamique.

Cette interaction a été étudiée chez des nageurs de l'Université de Ballarat, en Australie par Breed et Young, (2003); elle indique que, suite à un entraînement des membres inférieurs à l'extérieur de la piscine, les athlètes ont réalisé une amélioration aux différents tests, particulièrement à celui du saut vertical. Par contre, cette amélioration n'a pas été transférée totalement dans l'amélioration des départs; l'auteur indique des améliorations significatives pour le temps de réaction, l'angle d'envol et l'impulsion de départ. Une autre étude (Morin et al., 2003) démontre clairement que la puissance musculaire, avec ses composantes de force et de vitesse, est un déterminant de la performance en phase d'accélération. Il est donc dans l'intérêt des entraîneurs de travailler la puissance des membres inférieurs.

En revanche les escrimeurs ont été plus réactifs que les nageurs. Il apparaît, d'après les résultats, que les escrimeurs se soient adaptés aux exigences de leur sport à savoir être réactif. Ce sport nécessite des appuis sans cesse changeants ce qui habitue progressivement l'organisme et adapte la réponse musculaire. Quant aux nageurs, bien qu'ils soient très explosifs et musclés, ils réalisent leurs mouvements uniquement en chaîne cinétique semi-fermée (CCSF) avec l'eau. L'organisme ne peut donc pas réagir aussi bien avec l'appui au sol (en chaîne cinétique fermée : CCF), ce qui se traduit par des valeurs de réactivité inférieures à celles trouvées chez les escrimeurs. Les valeurs brutes de la réactivité renseignent sur la qualité musculaire du membre inférieur de l'individu. Si cette valeur s'avère faible, le sujet présente des risques lésionnels car le muscle ne pourra pas répondre correctement à un déséquilibre. Ainsi,

la réactivité obtenue permet de définir les sujets à risque par une mauvaise capacité pliométrique du muscle.

Au départ, la définition de la réactivité dans le milieu sportif se limitait à l'évaluation de la vitesse de changement de direction. Ensuite s'est ajouté l'évaluation des facteurs cognitifs (Young WB., et al., 2002).

Désormais, la réactivité est définie comme « un rapide mouvement de tout le corps avec changement de vitesse ou de direction en réponse à un stimulus » (Sheppard JM., Young WB. 2006). De nos jours, plusieurs tests de réactivité se développent incluant une réaction suite à un stimulus propre au sport pratiqué (Sheppard JM., 2006).

Dans les trois armes qui composent l'escrime, (le sabre, le fleuret, l'épée) le mouvement des tireurs est très important quelle que soit cette arme. En effet, si nous tenons compte des ressources sollicitées, sur les plans psychomoteurs informationnels et méthodologiques, nous pouvons voir que les mouvements du tireur dans l'espace que représente la piste sollicitent l'ensemble de celle-ci, d'autant plus que l'efficacité des tireurs (c'est-à-dire la performance brute) en est favorisée. (Touya.G et leclerc.F 2007). Cette notion d'équilibre permet d'expliquer la forme spécifique des déplacements de l'escrimeur : vers l'avant ou vers arrière, la flexion la plus large possible (Popline.D 2002).

L'équilibre est le résultat d'un ensemble d'informations qui sont regroupées et traitées. Ces informations proviennent de la vision, du système vestibulaire et de la proprioception (Kuo AD. 2005). Si jamais une de ces entrées est perturbée, les autres se doivent alors de compenser la déficience rapidement afin d'éviter un déséquilibre. Les sportifs sont en constant déséquilibre lors de leurs efforts et se doivent donc d'être très réactifs.

Le pied est la « base » de l'équilibre de tout être humain, celui-ci envoie des informations constantes à travers les différents récepteurs afin d'assurer le maintien postural aussi bien sur sol stable que sur sol instable. (Kavounoudias A., 1998). Il est l'outil principal du sportif pour les différents types de déplacements. En effet, ceux-ci sont nombreux et variés : accélération, décélération, en arrière, latéralement, sauts, ou alors lors des départs, virages et poussées en natation... et souvent de façon vive.

Le rythme de l'action en escrime est un élément très important, il reflète la fréquence et la cadence des actions mises en œuvre pendant un assaut. Changer de rythme vise à rompre avec une rythmicité établie pendant une bonne partie de l'assaut, en accélérant, en ralentissant, ou de façon plus technique en modulant ses temps de préparation, en jouant sur les mises à distance ou leurs variations, en procédant à des alternatives plus serrées de première, deuxième ou troisième intentions ... Changer le rythme ce n'est pas simplement se réadapter lorsque cela se passe mal pendant un assaut, c'est aussi empêcher l'adversaire de s'adapter à un mode d'action pendant l'assaut, avant même qu'il ne pense à le faire. (Sicard.M et Obry.H et Avanzini.G 2007), ceci pourrait justifier les écarts enregistrés lors des différents sauts chez les escrimeurs ou nageurs.

Conclusion

Les deux sports ici représentés, natation et escrime, se distinguent significativement dans le sens où les escrimeurs ont des valeurs inférieures aux nageurs que ce soit

pour les garçons ou les filles, sauf pour le CMJ. Quel que soit le protocole utilisé, l'exercice doit être réellement maximal ; la durée de l'exercice doit être très courte ; les conditions de force et de vitesse doivent être optimales.

Des études récentes ont démontré la validité et la fiabilité du myotest, [Bampouras TM, et al., 2010]. Une étude a cependant montré que seuls certains paramètres évalués par l'appareil étaient valides, comme le temps de saut, alors que d'autres ne l'étaient pas, comme la vitesse de décollage [Casartelli et al., 2010]. Dans cette étude, la variable réactivité est prise en compte. Aucune étude à ce jour n'a cependant montré la fiabilité de cette variable.

Cela étant dit, le myotest est un appareil très pratique pour réaliser des mesures de qualité n'importe où et sur n'importe quel exercice, du moment que le déplacement de la charge est linéaire (e.g., squat jump, squat, développé couché, etc.).

Bibliographie

- T.M., Relf, N., Orme D., Esformes, J.L. (2010). Validity and reliability of the Myotest Pro wireless accelerometer. *British Journal of Sports Medicine*, Vol. 44.
- Blansky, B., Nicholson, L. et Elliot, B. (2002). Biomechanical analysis of the grab, track and handle swimming starts: an intervention study. Department of Human Movement and Exercise Science, University of Western Australia.
- Breed, R.V., et Young, W.B. (2003). The effect of a resistance training programme on the grab, track and swing starts in swimming. *Journal of Sports Sciences*, 21, 213-220.
- Casartelli, N., Müller, R., Maffioletti, N.A. (2010). Validity and reliability of the myotest accelerometric system for the assessment of vertical jump height, *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 24 (11), p. 3186 – 3193.
- Lavoie, I.M., Leger, L.A., Marini, I.F. (1984). Comparaisons anthropométriques et physiologiques de deux niveaux d'escrimeurs compétitifs. *La revue québécoise de l'activité physique*, 1984, vol. 2, n° 3, 91-95.
- Lavoie, I.M., Leger, L.A., Marini, I.F. Analyse énergétique de l'escrime de compétition. *La revue québécoise de l'activité physique*, 1985, (sous presse).
- Morin J. B. et Belli, A. (2003). Facteurs mécaniques de la performance en sprint sur 100 m chez des athlètes entraînés. *Sciences et Sports*, 18, 161-163.
- Pierson W.R. (1956). Comparison of fencers and non fencers by psychomotor space perception and anthropometric measures. *Research Quarterly*, 27, 90-96.
- Poplin, D. (2002). Escrime enseignement et entraînement : Amphora. Kavounoudias, A., Roll, R., Roll, J.P. (1998). The plantar sole is a 'dynamometric map' for human balance control. *Neuroreport*, Vol 9 (14), p. 3247 – 3252
- Ketlinski, R., Pickens, L. (1973). Characteristics of male fencers in the 28th annual N.C.A.A. fencing championships. *Research Quarterly*, 44, 434-439.
- Kuo, A.D. (2005). An optimal state estimation model of sensory integration in human postural balance. *Journal of Neural Engineering*, Vol. 2, p. 235 – 249
- Sheppard, J.M., Young, W.B. (2006). Agility literature review: classifications, training and testing. *Journal of Sports Sciences*, Vol 24 (9), p. 915 – 928.
- Sheppard, J.M., Young, W.B., Doyle, T.L.A., Sheppard, T.A., Newton, R.U (2006). An evaluation of a new test of reactive agility and its relationship to sprint speed and change of direction speed. *Journal of Science and Medicine in Sports*, Vol 9, p.342 – 349.
- Sicard, M., Obry, H. et Avanzini, G. (2007) : Les cahiers de l'entraîneur N°03 : INSEP.
- Singer, R. (1968). Speed and accuracy of movement as related to fencing success. *Research Quarterly*, 39, 1080-1083.
- Stewart, K.J., Peredo, A.R., Williams, C.M. (1977). Physiological and morphological factors associated with successful fencing performance. *Journal Human Ergology*, 6, 53-60.
- Young, W.B., James, R., Montgomery, I. (2002). Is Muscle power related to running speed with changes of direction? *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 2002, Vol 43, p. 282 – 288.