

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

PROFIL BALISTIQUE DES ESCRIMEURS MASCULINS CANADIENS

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR

MICHAEL STOLBERG

JANVIER 2016

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.07-2011). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

DÉDICACE

À la douce mémoire de
Leonid Volvich

REMERCIEMENTS

Tout d'abord je voudrais remercier mon directeur de recherche, Alain Steve Comtois, qui a eu beaucoup de patience à travers mes divers changements d'idée, mais qui m'a toujours encouragé à poursuivre un sujet qui me passionne et m'a poussé à faire mes propres recherches afin de trouver mes propres réponses aux maintes questions qui se sont posées en cours de route et je suis sûr continueront à se poser dans le futur. Merci à vous M. Comtois.

Je voudrais remercier tous mes collègues kinésologues et kinésologues en devenir de l'UQAM avec qui j'ai eu plusieurs discussions passionnantes qui m'ont par la suite mené à découvrir de nouvelles façons de penser sur mon projet de recherche. Je veux spécialement remercier David, qui est probablement content que je finis finalement la maîtrise et donc que je vais arrêter de le déranger avec mes questions hebdomadaires sur les maintes itérations de protocoles auxquels j'ai songé et autres idées farfelues ayant aucun lien avec mon mémoire. Puis Athanasio, toi qui m'a accueilli dans le monde de la préparation physique des Citadins et c'est grâce à cela que j'ai appris tant sur la préparation physique et pu axer ma maîtrise dans cette perspective.

Je veux aussi remercier l'INS Québec, endroit fabuleux dans lequel on ne cesse de repousser les limites pour atteindre le sommet des podiums internationaux. Merci à tous mes collègues, mais surtout aux membres de l'équipe scientifique qui m'ont aidé avec l'établissement des tests, les collectes de données et l'analyse. Merci Jean, Nicolas, Benoît et Mathieu. Surtout un gros merci à Cory, superbe préparateur physique et mentor, qui m'a donné l'opportunité de travailler avec les meilleurs athlètes Canadiens et qui au quotidien me pousse à me dépasser en tant que

préparateur physique et nous bombarde des plus récents articles scientifiques. Frank, l'autre membre de notre équipe de préparation physique du tonnerre, merci pour ta grande aide à la collecte de données et pour les bons temps au boulot en train de concocter la plus récente version de nos programmes fabuleux d'escrime.

Merci beaucoup à tous les gens d'escrime Canada et Québec et surtout aux athlètes ayant participé à mon étude. Votre aide, en tant que participants, était absolument indispensable. Je veux bien sûr remercier Benjamin. Merci d'avoir organisé les évaluations des escrimeurs et d'avoir accepté de travailler avec moi sur le projet. J'espère continuer notre bon boulot ensemble pendant des années à venir et propulser l'escrime canadienne vers de nouveaux horizons.

Je veux remercier Melarie. Merci de m'avoir enseigné le karaté pendant tant d'années. Ta passion pour notre art martial m'a donné la pique de vouloir toujours apprendre plus afin de devenir un meilleur karatéka. C'est bien cela qui m'a amené au livres de Nakayama et qui m'ont ultimement poussés à vouloir étudier le mouvement humain afin de l'optimiser. Je continue d'étudier et travailler dans cette direction au quotidien. Merci aussi à tous les karatéka qui m'ont poussé au fil des ans et m'ont amené à me dépasser et vouloir savoir le comment de gagner et le pourquoi de mes défaites. Surtout merci à Josh et Charles. Notre travaille ensemble m'a réellement aidé à m'améliorer en tant que chercheur voulant avoir un impact réel sur la performance des athlètes.

Finalement le plus grand merci va à ma famille, qu'elle soit à quelques pas de ma porte ou pas très loin de la mer morte. Que ce soit un petit mot d'encouragement, un bon dîner chaud après une longue journée de travail, un sourire, une bonne histoire pour me changer les idées. Merci Babushka Faina, Babushka Rita, Dima, Lida, Ciera, Sasha. Un gros merci à Dedushka Vilya, toi qui a passé tant de temps à m'aider dans mes travaux et qui m'a donné les outils d'apprentissage que j'utilise toujours. J'espère encore pouvoir tirer de ton grand savoir pendant longtemps. Liza, merci d'être la sœur superbe que tu es. Tu es intelligente, charmante et pleine de joie de

vivre qui fait plaisir à voir. Merci d'être toujours là pour moi et continue de t'épanouir et devenir la jeune femme avec les idées géniales que tu es devenue sous mes yeux. Puis mes parents. Je ne sais comment vous remercier. Vous qui m'avez tant donné. Vous m'avez toujours poussé à étudier et saisir les opportunités se présentant à moi. Vous m'avez supporté à travers mes choix de carrière, même si parfois vous n'étiez pas d'accord. Vous support, que ce soit affectif, psychologique et n'oublions pas monétaire, à travers toutes mes études, était et reste si important pour moi. N'espérant jamais pouvoir repayer ma dette envers vous, j'espère simplement que mes accomplissements, dans lesquels vous avez investi une énergie immense, vous rendront fiers de moi. Mama, Papa, merci.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE	ii
REMERCIEMENTS	iii
TABLE DES MATIÈRES	vii
TABLE DES TABLEAUX	ix
RÉSUMÉ	xi
CHAPITRE I	1
INTRODUCTION	1
1.1 CONTEXTE GÉNÉRAL	1
1.1.1 <i>Objet de la recherche</i>	2
1.1.2 <i>Connaissance spécifique</i>	2
1.2 ÉNONCÉ DU PROBLÈME	4
1.3 HYPOTHÈSE.....	5
1.4 LIMITES.....	5
1.5 IMPORTANCE.....	6
CHAPITRE II	7
REVUE DE LA LITTÉRATURE	7
2.1 L'ESCRIME	7
2.2 ANALYSE TEMPORELLE ET GESTUELLE PAR ARME.....	7
2.2.1 <i>Épée</i>	7
2.2.2 <i>Fleuret</i>	8
2.2.3 <i>Sabre</i>	9
2.2.4 <i>Sommaire</i>	9
2.3 ANALYSE TEMPORELLE ET GESTUELLE DANS LES SPORTS INTERMITTENTS.....	11
2.4 ANALYSE ÉNERGÉTIQUE DE L'ESCRIME.....	14
2.5 ANALYSE ÉNERGÉTIQUE DES SPORTS INTERMITTENTS.....	15
2.6 ANALYSE DES BESOINS EN ESCRIME	18
2.7 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES ESCRIMEURS.....	20
2.8 LIENS ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET L'ESCRIME	21
2.9 ASYMÉTRIE	22

2.10	SÉLECTION D'ATHLÈTES.....	23
CHAPITRE III.....		27
METHODOLOGIE		27
3.1	INTRODUCTION.....	27
3.2	SUJETS	27
3.3	BATTERIE ÉVALUATIVE.....	28
3.4	MESURES (VARIABLES DÉPENDANTES).....	28
3.5	PROCÉDURES.....	33
3.6	QUANTIFICATION ET ANALYSES	34
CHAPITRE IV		35
RESULTATS.....		35
CHAPITRE V.....		41
DISCUSSION		41
5.1	ANTHROPOMÉTRIE	41
5.1.1	<i>Comparaison entre normes rapportées.....</i>	<i>41</i>
5.1.2	<i>Liens avec la performance.....</i>	<i>42</i>
5.2	TESTS BALISTIQUES.....	44
5.2.1	<i>Comparaison entre normes rapportées.....</i>	<i>44</i>
5.2.2	<i>Liens avec la performance</i>	<i>48</i>
5.3	ASYMÉTRIE	53
5.4	SÉLECTION D'ATHLÈTES.....	54
CHAPITRE VI.....		60
CONCLUSION.....		60
BIBLIOGRAPHIE.....		64

TABLE DES TABLEAUX

Tableau

Tableau 4.1 Données anthropométriques	35
Tableau 4.2 Données des tests balistiques	36
Tableau 4.3 Pourcentage d'asymétrie entre jambe avant et arrière au SLBJ et 505Mod	38
Tableau 4.4 Corrélations Pearson entre classement national et les données anthropométriques.....	38
Tableau 4.5 Corrélations Pearson entre classement national et données des tests sur plateforme de force	38
Tableau 4.6 Corrélations Pearson entre classement national et tests de terrain.....	39
Tableau 4.7 Rangs centiles sur tests servant à classer les athlètes.....	40

RÉSUMÉ

L'escrime est un sport où l'athlète doit être explosif, rapide sur les changements de direction et capable d'absorber de grandes forces excentriques. De plus, l'athlète doit démontrer ces habiletés le long d'un match et d'une journée compétitive pouvant compter 10 matchs. La présente étude avait pour objectif de développer et analyser une batterie de tests balistiques en lien avec la performance en escrime telle que reflétée par le classement national canadien. L'étude a rassemblé 13 escrimeurs du classement national (âge : 21.5 ± 3.1 ans, taille : 180.7 ± 6.4 cm, masse corporelle : 75.9 ± 10.9 kg, indice de masse corporelle (IMC) : 23.2 ± 2.9 kg/m², pourcentage de graisse corporelle 13.0 ± 3.2 %, 10 droitiers et 3 gauchers). La batterie évaluative été composée du saut sans contremouvement (SJ), saut avec contremouvement (CMJ), saut en contrebas (DJ), saut en longueur à une jambe (SLBJ) et test de changement de direction (505_{Mod}). Les résultats de la batterie étaient comme suit : hauteur de saut de 0.37 ± 0.07 , 0.41 ± 0.07 , 0.46 ± 0.14 m au SJ, CMJ et DJ, respectivement. Temps d'envol : temps de contact (FT:CT), 1.11 ± 0.35 , 0.67 ± 0.12 et 1.93 ± 0.39 au SJ, CMJ et DJ, respectivement. La distance moyenne sautée était de 2.09 ± 0.18 m au SLBJ_G, 2.08 ± 0.21 m au SLBJ_D, 2.09 ± 0.19 m au SLBJ_{Av} et 2.08 ± 0.19 m au SLBJ_{Arr}. Pour ce qui en du test de changement de direction, les escrimeurs l'ont complété en 3.016 ± 0.085 s au 505_{ModG}, 2.988 ± 0.101 s au 505_{ModD}, 2.986 ± 0.101 s au 505_{ModAv} et 3.018 ± 0.081 s au 505_{ModArr}. Les corrélations avec le classement national étaient de ($r = -0.64$) pour la taille, ($r = -0.59$) pour la masse corporelle, ($r = -0.35$) pour SJ FT:CT, ($r = -0.42$) pour DJ FT:CT, ($r = -0.38$) pour SLBJ_G et ($r = 0.65$) pour SLBJ_G. La distance au SLBJ_{Arr} est davantage liée au classement national que la hauteur aux sauts verticaux. FT:CT pour SJ et DJ démontre l'importance de la réactivité de l'application de la force au sol pour la performance en escrime. Les changements de direction rapides, tel que déterminé par 505_{Mod} sont très important pour les escrimeurs. La combinaison de la taille, SLBJ et 505_{Mod} est capable de distinguer entre un niveau supérieur et inférieur d'escrime, démontrant ainsi le potentiel de ces tests pour de futures évaluations balistiques.

Mots clés : saut, réactivité, changement de direction, évaluation, indicateur de performance

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1.1 Contexte général

D'après le centre d'études olympiques, avant de devenir un sport, l'escrime était une forme d'entraînement militaire. Ce n'est que vers les 14^e – 15^e siècles que l'escrime a été considérée en tant que sport. Bien que ses origines sportives soient disputées entre l'Italie et l'Allemagne, ce sont bien les maîtres escrimeurs allemands qui au 15^e siècle fondent les premières guildes, notamment celle de Marxbruder à Francfort en 1478. Dès les premiers Jeux olympiques (JO), en 1896, à Athènes, l'escrime y figure comme sport. Au JO de 1900, les trois armes : fleuret, sabre et épée, figurent à la compétition quadriennale. En 1924, l'escrime féminine vient s'ajouter au programme olympique avec l'épreuve du fleuret. Il faudra attendre la deuxième tenue des JO à Athènes, soit plus d'un siècle suivant l'instauration des Jeux modernes, en 2004, pour voir la tenue des épreuves aux trois armes tant bien chez les femmes que chez les hommes. L'escrime, sport à la fois de finesse et d'explosion requiert une préparation sérieuse sur divers plans incluant le tactique, technique, physique et mental. Cependant, bien que l'escrime ne cesse d'évoluer, il semble qu'entre autre sur le plan de la préparation physique, le sport ne suit ni les avancées des sciences du sport, ni les nouvelles demandes imposées par son évolution-même. En effet, très peu est connu sur la biomécanique et physiologie de ce sport en général et des indicateurs clés de la performance, spécifiquement sur le plan physique.

Étant donné que l'escrime est principalement caractérisée par des déplacements très rapides, surtout lorsqu'une attaque survient, il apparaît que la puissance musculaire

joue un rôle primordial dans ce sport. La puissance, un élément important dans la grande majorité des sports, est le produit de la force et de la vitesse. Or, la contribution respective de chacun de ces deux paramètres varie grandement selon les demandes du sport en question. Vu l'importance de la rapidité en escrime, les mouvements balistiques sont davantage liés à ce sport, que ceux où une force maximale doit être développée. Si cette composante plutôt balistique de la puissance est d'importance pour l'escrime, il découle qu'un meilleur escrimeur devrait développer une plus grande puissance que son homologue de niveau inférieur. Toutefois, ceci reste à être démontré avec certitude.

1.1.1 Objet de la recherche

Ainsi l'objet de cette recherche est le développement d'un profil balistique de l'escrimeur à l'aide d'une batterie de tests physiques.

1.1.2 Connaissance spécifique

L'escrime est caractérisée par des séquences explosives (attaques, défenses et contre-attaques) espacé par des séquences de plus basses intensités durant lesquelles les athlètes se déplacent sur la piste pour se repositionner stratégiquement avant de réengager dans des actions de haute intensité. Suite à une touche d'au moins un des adversaires, le combat est arrêté et un temps mort est initié jusqu'au

recommencement du combat par l'arbitre. Donc le match d'escrime consiste en un enchaînement de phases de haute et basse intensité (1). Bien que les séquences de basse intensité soient majoritaires lors d'un combat, ce sont les actions courtes et explosives de l'athlète qui créent les opportunités de marquer un point et influencent le résultat du match. Donc leur importance est cruciale. Conséquemment l'escrimeur doit posséder une puissance musculaire importante afin de pouvoir lancer ses attaques et contre-attaques ainsi que se défendre de celles de son adversaire (2).

L'escrimeur doit donc suivre un plan d'entraînement qui lui permettra de développer une très grande puissance musculaire. Bien que l'entraînement visant à améliorer cette composante puisse varier, il doit être planifié de façon efficace en fonction des capacités balistiques de l'athlète.

Le saut vertical et le développé-couché jeté sont souvent utilisés pour évaluer l'explosion des membres inférieurs et supérieurs, respectivement (3). Ces deux tests sont souvent utilisés vu leur simplicité d'exécution et d'administration. Cependant, il faut noter que dans le cas de la puissance des membres supérieurs, que le vecteur de force du saut vertical, surtout bipodal, est différent de celui que l'on retrouve principalement en escrime et ne contient pas la particularité de la poussée unipodale tant présente dans ce sport. Or, il a été démontré que l'aptitude à sauter haut ne corrèle pas nécessairement avec l'aptitude de sauter loin, que ce soit vers l'avant ou de côté (4). Donc le vecteur de transmission de force semble être d'importance dans les mouvements explosifs tels que les sauts. Compte tenu de cela, une batterie balistique évaluative des capacités nécessaires à l'escrime devrait contenir un mouvement explosif avec un vecteur d'application de la force similaire à celui de l'escrime. De plus, l'ajout d'un test unipodal serait de mise compte tenu de la poussée unipodale des escrimeurs. Un autre facteur d'importance est l'habilité de changement de direction rapide, puisque les séquences explosives comportent souvent des attaques et contre-attaques qui requièrent fréquemment un ou plusieurs changements de direction extrêmement rapides.

En prenant en compte les considérations mentionnées ci-haut, il apparaît qu'une batterie de tests balistiques doit être mise en place de façon à mesurer la puissance, mais aussi à pouvoir discriminer entre des escrimeurs de haut niveau supérieurs et inférieurs. Pour cela il est essentiel que la batterie soit adaptée aux particularités de l'escrime.

Il faut noter que quelques tentatives ont été réalisées dans le but de déterminer certaines caractéristiques balistiques générales des escrimeurs en lien avec des mouvements propres au sport (5,6). Cependant dans les deux cas, les études se sont limitées aux tests de puissance classiques (sauts verticaux) et ont rassemblé des données d'escrimeurs féminins et masculins. Ceci ne permet pas de porter des conclusions objectives relatives au sexe chez les escrimeurs.

1.2 Énoncé du problème

Chez les escrimeurs masculins, il n'existe aucune donnée sur les caractéristiques physiques. Ceci est particulièrement vrai pour les paramètres balistiques. L'objectif premier de la présente étude est de déterminer les caractéristiques physiques balistiques des escrimeurs masculins de haut niveau au Canada. En second lieu, l'étude permettra d'établir un lien entre les caractéristiques physiques balistiques et la performance en escrime. Ultimement, ces données permettront l'amélioration des méthodes de préparation physique et de sélection d'athlètes.

1.3 Hypothèse

Parmi les divers tests balistiques compris dans la batterie évaluative, ceux avec une application de force combinant à la fois vecteurs antéropostérieurs et axiaux seront reliés davantage à la performance en escrime que ceux incluent uniquement un vecteur axial, associé à la nature des déplacements dans ce sport.

1.4 Limites

Une des limites majeures de l'étude est le bassin de participants, qui ne compte que treize athlètes. En effet, il est relativement restreint dû au niveau élevé des athlètes sélectionnés et à l'emplacement géographique dispersé de ces derniers. De plus, étant donné que la préparation physique et les tests physiques, élaborés sur des bases scientifiques, n'ont fait leur apparition que très récemment en escrime au Canada. L'étude représente donc un premier pas au projet pilote.

1.5 Importance

L'importance de cette étude est basée sur le fait qu'il n'existe que très peu de littérature sur l'escrime et qu'il contribuera à élargir les connaissances scientifique dans ce domaine. D'autre part, cette recherche tentera d'initier le développement d'indicateurs clés de la performance en lien avec l'escrime afin de pouvoir mieux cibler les facteurs d'importance pour le sport et conséquemment améliorer le processus d'entraînement, spécifiquement en préparation physique.

CHAPITRE II

REVUE DE LA LITTÉRATURE

2.1 L'escrime

L'escrime en tant que sport olympique est pratiquée avec trois armes : soit l'épée, le fleuret et le sabre. Chacune ayant des particularités au niveau du maniement lors des attaques (pointe ou tranchant de l'arme) et des cibles valables pour des touches. Le sport est désormais pratiqué tant bien du côté féminin que masculin et ce dans toutes les épreuves (trois armes en individuel et en équipe). Peu importe l'arme, le match d'escrime est disputé en cinq touches durant les poules préliminaires et en quinze touches durant les matchs éliminatoires. Le match d'escrime consiste à toucher l'adversaire avec son arme sur une cible valable, sans se faire toucher et ainsi amasser le nombre de touches nécessaires à la victoire.

2.2 Analyse temporelle et gestuelle par arme

2.2.1 Épée

L'épée est une arme qui est utilisée seulement avec la pointe lors des attaques. Toutes la face antérieure du corps est une cible valable pour une touche. De plus, contrairement aux deux autres armes, une touche simultanée donne un point aux deux

athlètes. Le match éliminatoire d'épée est divisé en tiers temps de trois minutes séparés par une pause d'une minute. Chez les hommes il a été rapporté qu'en moyenne un match comprend une période de temps de combat égale à celle du temps d'arrêts (ratio de 1:1). Du côté des femmes ce ratio est plutôt de 2 :1 (7). Une action, un engagement des deux escrimeurs entre deux temps d'arrêt dure en moyenne 15 s. Cependant la majorité de ce temps est disputée à une intensité sous-maximale. Les déplacements sur la piste, 14 m de longueur pour les trois armes, varient de 250 à 1000 m et résultent en 140 attaques sur une journée de compétition. De plus, lors d'une compétition entière, les femmes font en moyenne 400 changements de direction, tandis qu'on en observe 170 chez les hommes (7).

2.2.2 Fleuret

Le fleuret, tout comme l'épée est une arme de pointe. Le tronc (incluant le bassin) est une cible valable à cette épreuve. Même lors d'une touche simultanée, la priorité au niveau de l'attaque détermine lequel des escrimeurs recevra le point. Le format du match au niveau du temps est exactement comme à l'épée. En moyenne, une action au fleuret dure 5 s et le ratio rapporté chez les hommes est de 1:3, de temps de combat : temps d'arrêt. Tout comme à l'épée, les fleurettistes masculins effectuent en moyenne 170 changements de direction lors d'une journée de compétition et se déplacent et attaquent un nombre similaire de fois que les épéistes (7). Du côté féminin, les matchs résultent en un ratio de 1 :1.1 (1). Les mêmes chercheurs ont rapporté que seulement 6.2 ± 2.5 % du temps de combat était passé à effectuer des mouvements de haute intensité avec une durée moyenne de 0.7 ± 0.1 s et des temps de récupération active de 10.4 ± 3.3 s. De plus, les matchs en 15 touches contenaient des temps passés à basse intensité plus longs que lors des matchs de 5 touches.

2.2.3 Sabre

Contrairement aux deux autres armes, la pointe et la lame complète permettent de marquer un point au sabre. Les cibles valables sont : le tronc, les membres supérieurs, excepté les mains, le cou et la tête. Les règles de priorité d'attaque sont identiques au fleuret. Bien que le match de sabre contienne aussi trois tiers temps, lorsqu'un des tireurs a cumulé huit touches, une pause d'une minute est accordée et le match reprend au début du prochain tiers temps. D'après une étude rassemblant 25 sabreuses et 32 sabreurs, il est rapporté que les actions à cette épreuves ne durent qu'environ 2.5 s et sont entrecoupées par des pauses de 15 s (8). Donc le ratio rapporté au sabre est plutôt de 1 : 6, de temps de combat : temps d'arrêt. En moyenne il est rapporté qu'un match de sabre contient 21 fentes, 7 changements de direction et 14 attaques. Il est à noter que les matchs durant cette épreuve ne dépassent que très rarement 9 min et ce en comptant les temps d'arrêts. En effet, le temps d'action total ne représente qu'une infime partie du combat et en somme revient à plus ou moins 70 s (8).

2.2.4 Sommaire

Il a été rapporté qu'une compétition d'escrime s'étale régulièrement sur 10 h avec un total d'environ 10 matchs disputés par les deux finalistes. Le temps entre les matchs est très variable et peut être de 15 min mais aussi durer jusqu'à 5 h (7). En analysant les données temporelles et gestuelles que l'on retrouve dans la littérature sur l'escrime, les aspects suivants ressortent. L'épée semble être l'arme avec les actions les plus longues. Celles-ci sont dominées par le travail sous-maximal et un ratio entre travail et repos plus ou moins égal. Les actions effectuées dans les matchs de fleuret sont plus rapides alors que les pauses entre les actions sont de durée équivalente à celles à l'épée, les fleurettistes passent plus de temps au repos qu'en action. Il faut

tout de même noter que malgré cette tendance, les femmes passent plus de temps en action que les hommes à l'épée et au fleuret. Les sabreurs, eux, ont les séquences d'action les plus courtes entre les trois armes et possèdent le ratio le plus bas entre le temps actif et passif sur la piste. Pour ce qui en est des changements de directions lors des matchs, les épéistes féminines semblent engager dans le plus grand nombre de changements de direction, probablement dû, en partie, au plus long temps passé en phase d'action. Les hommes, quant à eux, tant au fleuret, qu'à l'épée effectue un nombre semblable de changements de directions. Peu d'information concernant les changements de directions chez les sabreurs existent pour la durée d'une compétition. Cependant, si l'on s'en tient au nombre de changements de direction lors d'un seul match et le nombre moyen de matchs par compétition, ils en font probablement moins que 100. Il est intéressant que chez les femmes, une différence significative a été observée quant au nombre de changement de direction lors d'un match, soit 133 ± 62 et 85 ± 25 , pour celles de niveau technique plus élevé et plus bas, respectivement (9). Il faut noter que peu importe l'arme analysée, toute tentative de touche est accompagnée d'au moins un et souvent plusieurs des éléments suivants : une fente explosive, engendrant une poussée puissante de la jambe arrière puis un arrêt brusque de la jambe avant, plaçant une charge excentrique sur cette dernière, une flèche, une offensive caractérisée par un déplacement semblable à un sprint durant laquelle l'arrêt de l'athlète se fait bien après l'attaque ou un changement de direction durant lequel un arrêt brusque se fait et est suivi d'une accélération dans la direction opposée (10). Donc le match d'escrime se caractérise par des séquences extrêmement courtes ($< 1s$) et explosives durant lesquelles les athlètes tentent de faire une touche. Ces séquences sont répétées plusieurs fois lors d'un match, mais sont espacés par des séquences de basses intensités et qui durent plus longtemps que les actions explosives (dépendamment de l'arme), ainsi que des temps d'arrêt complets qui durent environ 15 s peu importe l'arme utilisée. Il faut rappeler que même pour les armes avec des actions plus longues, l'attaque elle-même demeure très rapide et de courte durée set donc les actions décisives ne représentent qu'une petite partie d'un match, bien que

leur importance soit extrême. Ainsi, d'après l'analyse temporelle limitée de l'escrime, il semble que les éléments physiques clés d'un match sont : la capacité à être explosif sur des courtes distances et courts lapses de temps ainsi que la capacité de répéter ces séquences explosive le long d'un match et d'une journée compétitive.

2.3 Analyse temporelle et gestuelle dans les sports intermittents

À des fins de comparaisons, une brève analyse temporelle et gestuelle d'autres sports, requérant les mêmes qualités d'explosion et habileté à la répéter, suit ci-dessous.

Dans une analyse du hockey sur gazon, il a été constaté que 95% du temps de jeu était passé en arrêt complet debout, à la marche ou en jogging. Donc, ce n'est que pendant 5 % du temps que les joueurs effectuent des actions de haute intensité, plus précisément des sprints et des déplacements multidirectionnels rapides (11). Cependant, dans une revue, il est mentionné que bien que les sprints répétés ne correspondent qu'à une petite partie des déplacements lors de matchs de sports d'équipes, tel que le soccer et le rugby, ils peuvent néanmoins avoir une influence majeure sur le résultat d'une partie (12). Les mêmes chercheurs ont décrit qu'au football australien, les actions à haute intensité durent en moyenne 2.7 s et sont répétés à des intervalles de 75 s, tandis que dans le soccer élite, ces actions durent entre 3.7 et 4.4 s et sont répétés à des intervalles entre 40 et 56 s. En lien avec le fait que les actions doivent être répétées durant les matchs de sports d'équipe, ces chercheurs rappellent que si l'on prend en considération que les sprints, ceux-là ne durent qu'entre 2 et 3 s et ne sont répétés qu'à chaque 1 à 2 min, il n'y a pas de dégradation de la performance. En effet, une étude sur les sprints répétés a démontré que lorsque des sprints de 5.5 s sont répétés à toutes les 120 s, il n'y a aucune dégradation de la performance. De plus lorsque le temps de repos est coupé à 90 s, ce

n'est qu'au 11^e sprints qu'une dégradation apparaît (13). Cependant, les auteurs de la revue notent qu'une dégradation plus grande pourrait survenir lors de vrais match puisque d'autres activités qui espacent les nombreux sprints, telles que des actions musculaire excentriques, des changements de directions et le jogging, peuvent augmenter le coût énergétique lors d'une partie (14). Il faut noter que les données rapporté ne sont que des moyennes et que lors d'un match, des temps de sprints et les durées des séquences peuvent grandement varier et ainsi imposer un plus grand stress sur l'athlète. Au hockey sur gazon, par exemple, près de 25 % des périodes de récupération entre les sprints duraient moins de 21 s (11). En termes de nombre de sprints totaux, selon l'étude, les données rapportées varient entre 20 et 60 (14). Donc il apparait que les actions de haute intensité représentent environ entre 3.3 et 9.3 % du temps d'un match dans divers sports d'équipes, mais ont une grande influence sur le résultat du match puisque ce sont bien ces actions qui vont souvent permettre de créer une opportunité de marquer ou de prévenir que l'équipe adverse ne marque.

Si l'on se concentre sur un sport individuel qui est aussi intermittent et qui utilise souvent un déplacement asymétrique et des fentes explosives, tel que le badminton, l'analyse temporelle et gestuelle dresse le portrait suivant (15). Chez les femmes, une partie dure en moyenne 17.14 ± 0.97 min, avec une durée sensiblement semblable du côté masculin avec un temps de 17.27 ± 2.67 min. Du côté féminin, un échange entre adversaires, donc le temps d'une séquence menant à un point, dure en moyenne 4.16 ± 0.24 s et est espacé par un temps de pause passif de 10.53 ± 0.35 s en moyenne. Les femmes engagent 70 ± 2.16 échanges par match et feront 242.5 ± 8.96 coups pendant cette période. Un échange, lui, contient en moyenne 3.48 ± 0.10 coups. Cette analyse amène à la conclusion que 28.30 ± 0.77 % d'un match est passé à faire des échanges. Chez les hommes, les échanges durent 4.62 ± 0.86 s, tandis que les temps d'arrêt sont de 9.71 ± 1.32 s. Le badminton masculin compte en moyenne 70.25 ± 1.26 échanges par match durant lequel 331.25 ± 44.74 coups sont effectués. L'échange chez les hommes totalise en moyenne 4.74 ± 0.78 coups. Le tout résulte en 32.22 ± 3.34 % du match passé en échange. Il faut noter que cette étude n'a pas disséqué les échanges en

activités de diverse intensité et donc il est difficile de savoir quel temps est réellement passé à haute intensité. Cependant, il est certain qu'il est moindre que la durée d'un échange.

Se rapprochant davantage de l'escrime, le karaté est un sport de combat qui priorise des déplacements asymétriques, des fentes explosives et de multiples changements de directions rapides. D'après l'étude de Beneke et al. (16) le ratio entre le temps de combat et les temps d'arrêts est de 2 : 1 avec, en moyenne, 18 s de combat et 9 s de temps d'arrêt pour un combat de 3 min. En moyenne le temps total passé sur le tatami étant de 4 : 27 min pour un match de 3 min (sans inclure les arrêts). De plus, les mêmes chercheurs ont indiqué que lors d'un combat il y a en moyenne 16.3 séquences de hautes intensités, définies comme des actions offensives ou défensives, qui durent entre 1 et 3 s. De leur côté, Iide et al. (17) ont indiqué que durant un match de 3 min le temps total des actions de hautes intensités étaient de 19.4 s en moyenne, parmi lesquelles la séquence la plus courte était de 0.3 s et la plus longue 1.8 s. Cependant durant un match de 2 min, les actions de hautes intensités les plus longues étaient d'une durée de 2.1 s tandis que les actions à haute intensité les plus courtes étaient d'une durée égale à celles retrouvées aux matchs de 3 min. Les matchs plus courts contenaient un temps total de 13.3 s d'actions à haute intensité. Il faut noter que le reste du temps de combat se déroule à basse intensité par les athlètes. Ces actions sont caractérisées par des déplacements avant, arrière et latéraux ainsi que des sautilllements pour se repositionner avant l'enclenchement d'une attaque ou pendant lesquelles ils cherchent une ouverture chez l'adversaire (16). Donc les actions à haute intensité représentent environ 11 % du temps de combat, pour les matchs de 2 et 3 minutes et ce sans compter les temps d'arrêt. Il faut noter que lors des matchs éliminatoires, au nombre de quatre dans la compétition qui a fait le sujet de cette étude, sans compter les matchs de finale, le temps de récupération entre le premier et deuxième, deuxième et troisième et troisième et quatrième match était de 17, 15 et 9 min, respectivement.

2.4 Analyse énergétique de l'escrime

L'étude de Milia et al. (18) a analysé l'échange gazeux et la dépense énergétique lors d'une simulation d'un match d'escrime. Ces chercheurs ont rapporté que lors du match, la filière énergétique oxydative n'était pas très sollicitée compte tenu du fait que durant le match complet, ni le rythme cardiaque, ni la consommation d'oxygène n'avaient atteintes le seuil anaérobie des athlètes. Les résultats sont basés sur des calculs de données obtenues suite à un test progressif maximal à la course. Cependant, la lactatémie de ces derniers était au-dessus de 6 mmol/L pour toute la durée du combat, une valeur supérieure au seuil anaérobie. Semblablement, Cerizza & Roi (19) ont trouvé que chez les fleurettistes, les matchs de poules, relativement courts en durée, produisaient des lactatémies autour de 2.5 mmol/L, tandis que les matchs éliminatoires, plus longs en durée, étaient accompagnés de valeurs au-dessus de 4 mmol/L et ont même atteints 15.3 mmol/L pour le gagnant du tournoi. Ces mêmes chercheurs ont aussi simulés des matchs de cinq touches chez des épéistes et fleurettistes adolescents de niveau national et international (filles et garçons) et ont rapporté des valeurs de lactatémie moyennes de 1.7 mmol/L.

Il s'avère donc que les combats des poules éliminatoires taxent peu la filière anaérobie lactique, vu les faibles valeurs de lactatémie rapportées, tandis que les matchs éliminatoires l'utilisent davantage. Au contraire, les matchs de poules utilisent de manière prédominante la filière anaérobie alactique, à travers la créatine phosphate (PCr). Cependant il est probable que cette filière prédomine aussi dans les matchs éliminatoires au sabre (10). La filière aérobie, quant à elle, ne semblerait pas jouer un grand rôle durant les matchs des poules dû à leur très courte durée et non plus durant les matchs éliminatoires si l'on s'en tient aux données rapportées. Cependant, vu la nature explosive du sport jumelé au fait qu'entre les actions de haute intensité, se retrouvent des phases de basse intensité (très présents à l'épée et tout de même présents au fleuret) et des phases d'arrêt complet (aux trois

armes), il est très probable que la filière aérobie soit importante dans une perspective de récupération entre les séquences explosives. En effet d'après Thébault et al. (20) les individus avec une vitesse aérobie maximale (VAM) supérieure à 17 km/h étaient davantage en mesure de maintenir leur vitesse lors de sprints répétés que ceux avec une VAM inférieure à 17 km/h. Cependant, Carey et al. (21) ont rapportés que chez des athlètes de hockey féminin, l'index de fatigue de sprints sur glace n'était expliqué qu'à 17.8 % par la consommation maximale d'oxygène ($VO_2\text{max}$) de ces dernières. De plus, Hoffman (22) a rapporté que chez les soldats, un certain niveau d'endurance physique était avantageux pour la récupération entre des séries d'exercices de haute intensité, mais qu'une augmentation de cette endurance n'affectait pas cet avantage. Compte tenu du fait que la revue sur l'escrime de Roi & Bianchedi (7) indique que des $VO_2\text{max}$ entre 34.2 ± 2.6 et 67.3 ± 3.7 mL/kg/min ont été rapportés par diverses études sur les escrimeurs, incluant deux groupes d'escrimeurs de niveau internationale avec des $VO_2\text{max}$ de 58.0 ± 2.6 et 59.0 ± 5.0 , il apparaît qu'une $VO_2\text{max}$ très élevée n'est, du moins, pas primordiale après un certain seuil, qui a intérêt à être déterminé afin de définir le niveau optimal requis pour ce sport.

2.5 Analyse énergétique des sports intermittents

Vu le peu d'information présente dans la littérature sur les aspects physiologiques de l'escrime, il faut se tourner vers des analyses de sports et activité ressemblant à l'escrime, pas nécessairement au niveau de la gestuelle qui est souvent propre à un sport, mais au niveau du temps passé dans des phases d'actions explosives (sprints, sauts, lancés) ainsi que le ratio entre ces phases explosives et des phases de plus basses intensités. Ce type de comparaison, permettra une meilleure compréhension des demandes qu'imposent une action, un match et une compétition complète sur l'escrimeur.

Une analyse (14) des coûts énergétiques d'un sprint a rapporté que les sprints de moins de 10 s, dégradent PCr en plus de taxer la glycolyse anaérobie. De plus, les individus avec des temps de sprints plus rapides, dégradent davantage PCr que leurs homologues plus lents, ainsi démontrant l'importance de PCr pour produire des efforts maximaux. Lorsqu'il est question de sprints répétés, la glycolyse anaérobie, en termes de contribution relative, diminue en faveur d'une augmentation du métabolisme aérobie. PCr, par contre, augmente en sa contribution relative à la production anaérobie d'adénosine triphosphate (ATP) avec l'augmentation du nombre de sprints. En effet, Gaitanos et al (23) ont démontré que lors d'une série de 10 sprints, de 6 s, séparés par des pauses de 30 s, la production de puissance de pointe diminuait significativement au 5e sprint et avait diminué de 33% au dernier sprints. PCr contribuait à 50 % de la production anaérobie d'ATP au premier sprint, tandis que cette proportion l'était de 80% au dernier. Cependant, la contribution absolue de PCr à la production totale d'ATP avait diminuée significativement du premier au dernier sprint, de 44.3 ± 4.7 à 25.3 ± 9.7 mmol/kg de muscle sec, respectivement. Il faut noter que suivant le premier sprint, PCr avait diminué à 57% de ses valeurs de repos et à 16% suite au dernier sprint. Conséquemment, 30 s ne suffisent pas pour ramener PCr à ses valeurs initiales après un sprint maximal de 6 s. Compte tenu de la grande dégradation de PCr suivant des sprints répétés avec un temps de repos relativement bas, Dawson et al. (24) ont rapporté qu'après un protocole de cinq sprints, de 6 s avec des pauses passive de 24 s, il fallait 3 min de repos passive pour ramener les valeurs de PCr à 84% de leur valeur au repos.

Si l'on prend le soccer comme exemple, la performance dans l'habileté à reproduire des sprints ainsi qu'aux courses intermittentes de hautes intensités lors de matchs a été liée au développement de la fatigue (25). De plus, Krstrup et al. (26) ont remarqué une diminution dans la quantité d'actions de haute intensité au soccer féminin dans les dernières 15 min de chaque mi-temps ainsi que vers la fin du match. Semblablement, Mohr et al. (27) ont trouvé qu'au soccer masculin la fatigue s'installe vers la fin du match, peu importe la position du joueur. Cette fatigue se manifeste par

une diminution des distances parcourues à l'aide de sprints et de course de haute intensité.

Utilisant encore une fois le karaté en guise de comparaison entre sports de combat, lorsque que l'on regarde la dépense énergétique durant un match, la situation suivante se dresse (16). Le travail moyen déployé durant le premier, deuxième, troisième et quatrième match étaient de : 348.3, 338.5, 320.3 et 327.7 kJ respectivement. Cependant, il n'y avait pas de différences significatives entre ces dépenses énergétiques totales lors de la comparaison inter-matches. Pour ce qui en est des contributions respectives des divers filières énergétiques lors du combat, il n'y avait aucune différence significative entre les contributions, ni en terme d'énergie ou de puissance relative au poids corporel de l'athlète, du système aérobique lors des quatre matchs et il en était de même pour le système anaérobique alactique. En moyenne, ces contributions énergétiques représentaient 78.6 et 15.4 % du total respectivement. Cependant, ces mêmes chercheurs ont rapporté certaines différences significatives dans la contribution du système anaérobique lactique à l'énergie totale lors des quatre matchs. Il y avait une différence significative dans la contribution de ce système à l'énergie totale entre le deuxième et quatrième match avec 6.9 et 3.8 % du total respectivement. Conséquemment, il s'avère que le système anaérobique alactique est sollicité davantage que celui de l'anaérobie lactique lors d'un match de karaté. Finalement, le système anaérobique lactique décroît en importance dans l'utilisation énergétique totale lors d'un match avec la progression de la journée compétitive, tout comme lors des sprints répétés mentionné plus tôt. Il s'avère que bien que le système aérobique prédomine, du point de vue temporel, lors du match de karaté, ceux sont les actions offensives ou défensives, séquences de hautes intensités, qui importent au pointage d'un match et finalement au succès ou échec de l'athlète. D'après Beneke et al. (16), il semble que ces actions soient liées aux systèmes anaérobiques. En effet, plus le nombre d'actions de haute intensité augmentait plus le système anaérobique lactique et alactique étaient sollicités, le premier l'étant davantage que le second.

2.6 Analyse des besoins en escrime

D'après le survol de la littérature ainsi que la revue de Turner et al. (10), les besoins physiques suivants ressortent comme étant probablement important pour le succès en escrime. Tout d'abord, l'habilité de produire un mouvement explosif doit être présente afin de pouvoir exécuter l'attaque avant son adversaire. Deuxièmement, l'habilité de changer de direction rapidement est nécessaire pour pouvoir contrer une attaque et potentiellement faire une touche ou récupérer d'une attaque non réussie et ainsi ne pas se laisser ouvert à une attaque de l'adversaire. Troisièmement, l'escrimeur doit posséder des qualités réactives pour pouvoir enchaîner déplacement et attaque et ainsi gagner de la vitesse afin de produire une attaque dévastatrice. Quatrièmement, l'athlète doit être capable d'absorber les forces excentriques qui sont constamment présentes du au maintes phases de freinages brusques. Finalement, l'escrimeur doit être en mesure de répéter les mouvements explosifs, changement de direction, les déplacements enchaînés et l'absorption de force excentriques le long d'un match et d'une journée compétitive.

Compte tenu de la similitude temporelle entre l'escrime et plusieurs sports intermittents et le fait que plusieurs d'entre eux sont caractérisés par des actions décisives impliquant une propulsion de soi ou d'un objet, de manière explosives, tout comme en escrime, les sprints répétés, avec ou sans changement de direction, peuvent représenter un modèle valable sur lequel construire la base physique en escrime.

Si l'on se penche sur la littérature des sprints répétés avec l'objectif de cerner les aspects déterminants pour le succès dans l'habilité à répéter des sprints maximaux, les points suivants se dressent. Da Silva et al. (28) ont rapporté que lors d'un test de 7 sprints avec 25 s de récupération entre chaque sprints, 78 % de la variance dans le

temps moyen pour un sprint était expliquée par le sprint le plus rapide de la série. López-Segovia et al. (29) ont rapporté de larges corrélations entre la puissance développée sur des sauts avec charge ainsi qu'à la flexion arrière et l'habilité à maintenir sa vitesse aux sprints répétés. De plus, ces chercheurs ont rapporté que ce qui différenciait significativement les joueurs les plus et moins puissants à la flexion arrière était à la fois l'habilité de répéter des sprints ainsi que le temps requis pour compléter un sprint de 10 m. Il semble donc, qu'une bonne habilité à répéter des sprints maximaux s'appuie sur l'habilité à produire un temps rapide sur un seul sprint maximal. Il faut noter qu'une analyse de la fente chez les escrimeurs a démontré que les escrimeurs les plus expérimentés avaient aussi les vitesses les plus rapides sur leur fente (7).

Les études ayant analysé les sprints de diverses longueurs ont rapporté plusieurs variantes en lien avec la performance sur ces dernières. Smirniotou et al. (30) ont rapporté plusieurs corrélations larges ($r > 0.5$) entre la hauteur obtenue suite à divers types de sauts tels que : saut sans contremouvement (SJ), saut avec contremouvement (CMJ), saut en contrebas (DJ) et les temps aux sprints de divers distances. De leur côté, Cunningham et al. (31) ont rapporté des corrélations larges entre le temps sur un sprint de 10 m et la charge maximale relative pour 1 répétition sur une flexion arrière ainsi que le quotient du temps d'envol et du temps de contact (FT:CT) au DJ. De plus, des corrélations très larges ($r > 0.70$) étaient rapportées entre ce même sprint et la hauteur au CMJ ainsi que la puissance maximale relative développée au CMJ. Maulder & Cronin (32) ont rapporté des corrélations très larges entre le temps du sprint de 20 m et des sauts unilatéraux verticaux et horizontaux. De plus, ils ont rapporté que la corrélation la plus forte ($r = -0.86$) était celle avec un triple saut unilatéral vers l'avant. Dans la même lignée, Habibi et al (33) ont rapporté que dans une batterie de tests qui incluait des tests de sauts verticaux et horizontaux, les tests de sauts horizontaux étaient les meilleurs prédicateurs du temps pour compléter un sprint de 10 m. Il semble donc, que bien que divers tests de sauts soient reliés à la propulsion explosive vers l'avant, telle qu'aux sprints, les sauts horizontaux sont

d'avantage corrélés avec ces derniers que les sauts verticaux. Ceci a aussi été remarqué par Adrian & Klinger (34), qui ont rapporté une relation directe entre l'impulsion horizontale et la vitesse de la fente, ainsi qu'une relation inverse entre l'impulsion verticale et la vitesse à la fente.

Compte tenu de ce qui est rapporté dans la littérature en termes de relation entre divers tests physiques et les vitesses de propulsion vers l'avant dans des mouvements comme les sprints et les fentes, il est d'intérêt d'analyser les caractéristiques physiques rapportées sur les escrimeurs, surtout masculins.

2.7 Caractéristiques physiques des escrimeurs

La majeure partie des données physiques rapportées chez les escrimeurs, tant du côté féminin que masculin, est d'ordre anthropométrique. Dans la mesure du possible, la revue des caractéristiques physiques ne touchera que l'escrime masculine, dans la mesure du possible, vu le sujet de cette recherche. Chez les hommes, les escrimeurs de haut niveau sont âgés entre 19.0 ± 0.8 et 25.6 ± 3.7 ans, mesurent entre 174 ± 5 et 184 ± 8 cm et ont une masse corporelle entre 69.5 ± 15.1 et 81.9 ± 9.9 kg. L'IMC des escrimeurs se situe entre les 22.2 ± 1.9 et 24.2 ± 2.2 kg/m² et un pourcentage de graisse corporelle entre 9.6 ± 1.2 et 15.3 ± 3.9 % (7).

Par rapport aux tests de performance physique, la littérature ne contient pas beaucoup de données sur les escrimeurs, surtout au niveau de tests balistiques, qui seraient reliés à la nature explosive du sport. En effet, l'unique étude ayant rapportée des données de tests balistiques, chez les escrimeurs a utilisé une population mixte d'hommes et femmes (6). Or, il a été rapporté que les hommes sautent plus haut que les femmes au SJ, CMJ et DJ (35). De plus, FT:CT sur plusieurs types de sauts sont aussi plus élevés chez les hommes que chez les femmes (36). Il a aussi été rapporté

que les femmes sautent moins loin au SLBJ que les hommes et que les temps de ces derniers étaient plus rapides que ceux des femmes à un test de changement de direction (37). Néanmoins, malgré les limites de cette étude, ses données sont les premières du genre en escrime et donc représente un premier coup d'œil sur la performance des escrimeurs sur divers tests balistiques. Les chercheurs ont rapportés les données suivantes. Une hauteur de saut moyenne de 0.28 ± 0.09 m, 0.33 ± 0.09 m et 0.31 ± 0.09 m au SJ, CMJ et DJ, respectivement. Ces résultats sont plus faibles que ceux rapportés pour des joueurs de badminton masculins (0.42 ± 0.05 , 0.46 ± 0.05 et 0.34 ± 0.05 m au SJ, CMJ et DJ, respectivement) (38). Ils aussi plus faible que chez les karatéka (0.39 ± 0.05 et 0.42 ± 0.05 m au SJ et CMJ, respectivement) (39). Avec certains études sur les karatéka rapportant des valeurs de 0.50 ± 0.02 m au CMJ (40). Tsolakis et al. (6) ont aussi rapporté un FT:CT pour DJ de 1.4 ± 0.54 m/s, des valeurs semblables à celles rapportées en badminton (1.46 m/ s) (38). L'étude d'escrime a aussi rapporté qu'en moyenne le temps pour compléter une fente était de 0.2 ± 0.04 s, tandis que le temps moyen pour compléter un test de changement de direction sur 5 m en pas d'escrime avec 5 changements de direction, totalisant 30 m, en 13.0 ± 1.08 s (6). Puisque si peu de données existent sur les tests balistiques de escrimeurs et aucunes pour les hommes spécifiquement, il est important de rechercher ceci pour initier l'accumulation de données sur le sujet afin que les préparateurs physiques aient accès à cette information pour leurs évaluations des escrimeurs masculins.

2.8 Liens entre les caractéristiques physiques et l'escrime

Il est intéressant d'analyser de quelle façon les tests balistiques ont une importance sur la performance en escrime. Tsolakis et al. (6) se sont attardés sur cette question et rapportés les liens suivants. Des corrélations modérées ($r = -0.46$ et $r = -0.42$) et large ($r = -0.50$) entre le temps requis pour compléter une fente et la hauteur au SJ, CMJ et DJ, respectivement. De plus, des corrélations larges ($r = -0.63$ et $r = -0.54$) et très large ($r = -0.70$) entre le temps requis pour compléter un test de changement de direction et la hauteur au SJ, DJ et CMJ, respectivement. De plus, ils ont rapportés des corrélations de ($r = -0.41$ et $r = -0.44$) entre FT:CT de DJ et le temps requis pour compléter une fente et le temps requis pour compléter un test de changement de direction, respectivement. Il est important de voir si de tels liens existent en escrime masculines spécifiquement.

2.9 Asymétrie

Étant donné que l'escrime est un sport asymétrique, il serait attendu de voir des différences entre la jambe et le bras avant et arrière de l'athlète, tant au niveau anthropométrique, qu'au niveau de la performance physique. C'est en effet ce que la revue de Roi & Bianchedi (7) rapporte. D'après ces derniers, la surface de section de l'avant-bras, du bras, de la cuisse et du mollet est significativement plus grande pour les membres avant qu'arrière et ce chez les épéistes et fleurettistes masculins et féminins. Au niveau de la cuisse, ces différences étaient d'environ 10 %. De plus, Guilhem et al. (41) ont rapporté une force maximale significativement supérieure de la jambe avant au niveau des extenseurs de la hanche et du genou, par rapport à la jambe arrière. Il faut tenir compte de ces différences dans une perspective de prévention de blessure puisque la littérature rapporte un lien entre l'asymétrie et les blessures. Jordan et al. (42) ont rapportés que même deux ans post-ligament croisé

antérieur (LCA), les skieurs sur l'équipe nationale canadienne avaient une différence significative dans la masse musculaire de la jambe affectée comparé à la jambe non-affectée, à l'encontre de leurs homologues sans historique de blessure au LCA. En termes d'asymétrie au niveau de la force, une étude de cas a démontré qu'une asymétrie dans la force de l'ischio-jambier de plus de 10 % est en mesure de prédire le risque de blessure de ce groupe musculaire (43). Il est donc important de comprendre l'ampleur de l'asymétrie sur divers performances unilatérales chez les escrimeurs afin de déterminer si ces athlètes sont à risques de blessures. Toutefois, il faut noter que Guilhem et al. (41) ont rapporté non-seulement des asymétries entre les membres inférieurs, mais aussi le fait que chacun des membres à un rôle spécifique, notamment la propulsion pour la jambe arrière et le freinage pour la jambe avant. Compte tenu de cela, il est possible qu'un certain niveau d'asymétrie spécifique soit non-seulement toujours présent, mais aussi crucial à la performance.

2.10 Sélection d'athlètes

Plusieurs études existent sur les différences dans l'anthropométrie ainsi que les performances aux tests physiques entre les divers niveaux d'athlètes. Une grande partie de ces études examinent des athlètes d'âge adolescent et ont pour but l'identification de talent. Par exemple, une étude récente de Moss et al. (44) a démontré des différences significatives dans la taille, masse corporelle et masse maigre ainsi qu'aux sauts verticaux et la vitesse de lancer chez les jeunes joueuses de handball de niveau supérieur comparé à leurs homologues de niveau moyen et inférieur. Cependant, il faut noter qu'en moyenne les athlètes du groupe supérieur étaient plus âgées et donc que non-seulement elles étaient potentiellement davantage entraînées, mais aussi plus matures physiquement. En effet, d'après Bidaurrezaga-

Letona et al. (45) le niveau de maturité physique joue un rôle important et indépendant sur l'anthropométrie et la performance physique des adolescents. Ces chercheurs indiquent qu'effectivement les athlètes qui se développent physiquement plus tardivement sont désavantagés par rapport à leurs homologues, mais finalement rattrapent ces derniers. Cependant, il faut noter qu'une étude rétrospective sur les joueurs de rugby adultes de divers niveau, a démontré des différences significatives dans des données anthropométriques ainsi que sur des performances physiques lorsqu'ils étaient adolescents (46). En effet, les joueurs évoluant présentement au niveau professionnel, avaient des valeurs des plis cutanés plus basse ainsi que qu'une hauteur de saut plus grande et des temps courts sur divers distances de sprints lors de l'adolescence, comparativement à leurs homologues évoluant présentement au niveau amateur. Malgré l'importance de ce type d'information, l'identification de talent est au-delà de la portée de la présente étude. Cependant, comprendre les aspects qui différencient les escrimeurs supérieurs et inférieurs au niveau physique est d'importance pour adéquatement planifier l'entraînement et l'évaluation de ces athlètes. Il faut noter que beaucoup moins est connu sur ce qui différencie physiquement les athlètes évoluant à un même niveau sportif, mais qui performant à un niveau supérieur et inférieur. En escrime, Tsolakis et al (5) ont rapporté des différences quant à la taille assise et l'épaisseur du pli cutané au niveau du triceps, sous-scapulaire et à la mi-cuisse, entre les escrimeurs supérieurs et inférieurs. De plus, des différences significatives étaient présentes lors de la rapidité d'exécution d'une fente ainsi qu'un test de changement de direction en déplacement d'escrime, bien qu'aucune différence significative ne fût notée lors de divers tests de sauts. Cependant, il faut noter que ce groupe d'athlètes était composé d'hommes et de femmes. Néanmoins, il semble que certains paramètres physiques différencient les escrimeurs supérieurs et inférieurs, du moins ceux imitant davantage le sport. Similairement, une étude au rugby (47) n'a trouvé aucune différence entre

les joueurs de niveau supérieur, moyen et inférieur en termes d'anthropométrie ou tests physiques, mais a noté des différences au niveau technique et tactique chez les joueurs de niveau supérieur. Par contre, Gabbett et al. (48) ont rapporté des temps significativement meilleurs sur plusieurs distances de sprints ainsi que sur un test d'agilité chez les joueurs de rugby de niveau supérieur comparé à ceux de niveau inférieur. Il s'avère donc que les performances aux tests physiques généraux n'expliquent pas toujours les différences entre le niveau des joueurs. Ceci peut être dû à la sensibilité inférieure de certains tests ou bien au fait qu'à un certain niveau sportif, les athlètes ont tous un certain standard physique qui est nécessaire pour jouer au dit niveau. Cependant, il faut noter que même les chercheurs n'ayant rapportés aucune différence aux tests physiques entre les joueurs de différents niveaux, ont tout de même trouvé des corrélations entre les tests physiques et techniques-tactiques (47). Compte tenu de l'absence d'information sur les paramètres physiques ayant une signifiante pour la performance en escrime chez les hommes, il est important de comprendre lesquels de ces paramètres seraient utiles à des fins de sélection dans le sport.

CHAPITRE III

METHODOLOGIE

3.1 Introduction

Il est important d'arriver à développer une grande puissance musculaire puisque le succès en escrime en dépend, du moins en partie. Conséquemment une bonne préparation physique doit se baser sur une évaluation adéquate de paramètres bien définis suite à des tests balistiques appropriés pour les escrimeurs élités.

3.2 Sujets

Treize hommes, escrimeurs canadiens, classés nationalement, (âge : 21.5 ± 3.1 ans, taille : 180.7 ± 6.4 cm, masse corporelle : 75.9 ± 10.9 kg, indice de masse corporelle (IMC) : 23.2 ± 2.9 kg/m², pourcentage de graisse corporelle 13.0 ± 3.2 %, 10 droitiers et 3 gauchers) ont pris part à une batterie de tests évaluant leur profil balistique. Ces tests faisaient partie d'une évaluation physique de l'équipe d'escrime du Québec et du Canada. Tous les participants ont été informés du contenu des tests et ont donné leur consentement à l'utilisation des données à des fins des analyses présentés dans ce mémoire de maîtrise. L'unique participant mineur, a aussi obtenu le consentement parental. Le projet de recherche a été approuvé par le comité déontologique de l'UQAM.

3.3 Batterie évaluative

La batterie évaluative comprenait les tests suivants : saut sans contremouvement (SJ), saut avec contremouvement (CMJ), saut en contrebas (DJ), saut en longueur à une jambe (SLBJ) et un test de changement de direction (505_{mod}) en plus des mesures de taille, masse corporelle et pourcentage de graisse corporelle. Une description détaillée de la batterie de tests suit.

3.4 Mesures (variables dépendantes)

Taille

La taille a été mesurée à l'aide d'une stadiomètre (modèle 213, Seca, Allemagne) à ± 0.1 cm de précision. Le participant se mettant nu pied sur la base du stadiomètre, s'est placé dos à la règle avec les talons collés ensemble. Se tenant le plus droit possible, le participant devait prendre une grande inspiration et c'est à ce moment que la mesure était prise en abaissant la section mobile du stadiomètre pour toucher le sommet de la tête du participant.

Masse corporelle

La masse corporelle a été mesurée à l'aide de la balance intégrée dans un analyseur de composition corporelle (BC-418, Tanita, Japon) à ± 0.1 kg de précision. Le participant, vêtu seulement de shorts courts, se mettant nu pied sur la base de la balance devait se tenir immobile et debout jusqu'à la fin de la lecture de l'appareille.

Pourcentage de graisse corporelle

Le pourcentage de graisse corporelle a été mesuré à l'aide d'un analyseur de composition corporelle (BC-418, Tanita, Japon) à ± 0.1 % de précision. Le participant, vêtu seulement de shorts courts, se mettant nu pied sur la base de la balance devait se tenir immobile et debout en tenant les électrodes destinés aux membres supérieurs dans chacune des mains. Le participant devait se tenir ainsi jusqu'à la fin de la lecture de l'analyseur.

Saut sans contremouvement (SJ)

Le SJ, tel que décrit par Komi et al. (35) est un saut qui commence par la descente préalable du participant dans une position *half-squat* sur une plateforme de force. Cette position est définie comme étant une position à mi-chemin entre une position

debout et une position avec une flexion du genou à 90°. Le participant reste immobile dans cette position pendant 2 s, puis en effectuant une action musculaire de type explosif, uniquement concentrique, des extenseurs des hanches, des genoux et des chevilles, se propulse verticalement dans les airs, le plus haut possible, puis atterrit sur la plateforme dans une position plus ou moins semblable à celle de départ. De la préparation du saut jusqu'à l'atterrissage, le participant maintient ses mains sur les hanches. Les variables mesurées pour le test étaient la hauteur du saut, calculée à partir de l'impulsion, et le ratio entre le temps d'envol et le temps de contact de la position initiale au moment d'envol (FT:CT). Étant donné que FT:CT représente un ratio de deux temps, le paramètre ne possède pas d'unité de mesure. FT:CT est une mesure de force réactive, décrite et généralisée par Ebben & Petushek (36) pour des sauts autre que DJ, qui antérieurement était l'unique saut pour lequel ce paramètre était calculé. Cependant, ces chercheurs ont utilisé le paramètre de RSI_{Mod} , qui reflète un concept identique au FT:CT, mais rapporté en unités différentes (m/s), puisque le temps d'envol est utilisé pour prédire une hauteur de saut. Il faut noter qu'un FT:CT plus élevé signifie que relativement à un certain temps de contact lors de la préparation du saut, l'individu a passé plus de temps en envol. Donc, un individu avec un FT:CT plus élevé possède une force réactive plus importante que son homologue avec un FT:CT inférieur.

Saut avec contremouvement (CMJ)

Le CMJ, tel que décrit par Komi et al. (35) est un saut qui commence par une descente plus ou moins rapide du participant dans une position *half-squat* sur la plateforme de force, définie ici comme étant une position à mi-chemin entre une

position debout et une position avec une flexion du genou à 90°. Suite à l'atteinte de la position la plus basse, unique à chaque participant, une poussée est initiée immédiatement en effectuant une action musculaire explosive des extenseurs des hanches, des genoux et des chevilles, qui propulsent le participant verticalement le plus haut possible. Le participant atterrit sur la plateforme dans une position de *half-squat*. De la préparation du saut et jusqu'à l'atterrissage, le participant maintient ses mains sur les hanches. Les variables mesurées pour le test étaient la hauteur du saut, calculée à partir de l'impulsion, et FT:CT.

Saut en contrebas (DJ)

Le DJ, tel que décrit par Komi et al. (35) est un saut qui commence sur une surface surélevée de la plateforme de force (17 cm plus haut que la surface de la plateforme dans le cas de la présente étude). Le participant se tenant debout sur le bord de la surface surélevée se laisse tomber. Dès qu'il contacte la surface de la plateforme de force, il tente de pousser le plus fort et le plus rapidement possible contre la plateforme de force en effectuant une action musculaire explosive des extenseurs des hanches, des genoux et des chevilles, qui le propulse verticalement le plus haut possible. Le participant atterrit sur la plateforme dans une position de *half-squat*. De la préparation du saut et jusqu'à l'atterrissage, le participant maintient ses mains sur les hanches. Les variables mesurées pour le test étaient la hauteur du saut, calculée à partir de l'impulsion, et FT:CT.

Saut en longueur à une jambe (SLBJ)

Le SLBJ, tel que décrit par Maulder & Cronin (49) est un saut qui commence alors que le participant est en appui sur une seule jambe, la pointe des orteils de la jambe de support est immédiatement derrière le début du ruban à mesurer collé au sol. Une décente plus ou moins rapide du participant dans une position *half-squat* sur une jambe se fait et suite à l'atteinte de la position la plus basse, une poussée est initiée immédiatement en effectuant une action musculaire explosive des extenseurs des hanches, des genoux et des chevilles, qui propulse le participant dans les airs, vers l'avant, le plus loin possible le long d'un ruban à mesurer collé au sol. L'action des membres supérieurs est autorisée. Le participant atterrit avec les deux pieds au sol dans une position de *half-squat*. La marque de l'emplacement de la partie postérieure du talon le plus proche du début du ruban à mesurer est prise comme distance de saut. C'est cette distance qui est la variable mesurée au SLBJ.

Test de changement de direction (505_{mod})

Le 505_{mod} est similaire au test 505 décrit par Draper & Lancaster (50). Ce dernier est, tel que décrit par les auteurs, un test de changement de direction horizontale. Cependant contrairement au test original, le 505_{mod} se fait d'un départ arrêté et le changement de direction se fait sans un retournement de 180° du participant. Le test commence alors que le participant à la partie antérieure du pied avant immédiatement derrière une ligne à 0.50 m de la ligne de départ. Lorsque prêt, le participant débute sa

course le plus rapidement possible et se dirige vers la ligne de 5 m. Une ligne se trouvant 0.50 m après la ligne de 5 m, doit être traversée par un des pieds, puis immédiatement le participants cours par en arrière vers la ligne de départ et tente de la traverser le plus rapidement possible. La ligne de départ et celle de 5 m sont munis d'un système de détection de mouvement (SMARTSPEED PRO, Fusion Sport, Australie) capable de calculer le temps (± 0.001 s) passé entre deux emplacements et donc de mesurer le temps mis par l'athlète pour compléter le test. Le test est répété deux fois en prenant appui sur la jambe gauche au moment de changer de direction et deux fois en s'appuyant sur la jambe droite.

3.5 Procédures

Les participants ont complété la batterie évaluative sur une journée. La première partie de l'évaluation comprenait les mesures anthropométriques (taille, masse corporelle et pourcentage de masse grasse). Après, le participant se dirigeait vers la plateforme de force. À ce point, chaque participant devait s'échauffer légèrement, en faisant les sauts SJ, CMJ et DJ. Par la suite le participant exécutait deux SJ, deux CMJ et deux DJ. Le participant avait une pause de 30 s entre les répétitions du même saut et avait 2 min de pause entre les séries de différents sauts. Suite à la complétion des sauts sur la plateforme de force, le participant se dirigeait vers la station des SLBJ. Il y avait une pause de 5 min avant de débiter les SLBJ. Avant de commencer, le participant avait l'opportunité de faire deux SLBJ sur chaque jambe en guise d'échauffement spécifique au test. Par la suite le participant faisait un SLBJ en partant de la jambe gauche. Suite à une pause de 30 s, le participant faisait un SLBJ avec la jambe droite. Le tout était refait une deuxième fois afin de faire deux SLBJ sur

chacun des membres inférieurs. Par la suite le participant avait un repos de 5 min avant de passer à la station 505_{mod}. Arrivé à la station, le participant avait l'opportunité d'encore une fois compléter un échauffement spécifique au test en complétant deux fois le test en prenant appui sur la jambe gauche lors du changement de direction et deux fois avec appui sur la jambe droite. Ensuite, le participant prenait place pour ses quatre essais au test, deux fois avec chaque pied d'appui au changement de direction.

3.6 Quantification et analyses

Afin de décerner les relations pertinentes entre les divers tests physiques ainsi que le rang des athlètes au classement national, des corrélations de Pearson ont été utilisés. De plus une régression logistique a été utilisée afin de d'analyser le pouvoir discriminatoire des tests pour discerner les différences entre les athlètes excellence (plus haut dans le classement) et élite (plus bas dans le classement).

CHAPITRE IV

RESULTATS

Les résultats des mesures anthropométriques des escrimeurs sont présentés dans le Tableau 1. Les escrimeurs variaient en âge entre 17 et 27 ans. Ils mesuraient entre 173.0 et 194.5 cm, pesaient entre 62.6 kg et 97.7 kg et avaient un IMC entre 19.6 et 30.1 kg/m². Leur pourcentage de graisse corporelle variait entre 9.8 et 19.1 %.

Tableau 4.1 Données anthropométriques

Variable	Moyenne	Écart type	Valeur minimale	Valeur maximale
Âge (années)	21.5	3.1	17	27
Taille (cm)	180.7	6.4	173.0	194.5
MC (kg)	75.9	10.9	62.6	97.7
IMC (kg/m ²)	23.2	2.9	19.6	30.1
PGC (%)	13.0	3.2	9.8	19.1

MC = masse corporelle; IMC = indice de masse corporelle; PGC = pourcentage de graisse corporelle

Les résultats des tests balistiques sont présentés dans le Tableau 2. En moyenne, les athlètes avaient une hauteur de saut de 0.37 ± 0.07 , 0.41 ± 0.07 , 0.46 ± 0.14 m au SJ, CMJ et DJ, respectivement. Pour ce qui en est du FT:CT, il était en moyenne de 1.11 ± 0.35 , 0.67 ± 0.12 et 1.93 ± 0.39 au SJ, CMJ et DJ, respectivement. La distance moyenne sautée était de 2.09 ± 0.18 m au SLBJ_G, 2.08 ± 0.21 m au SLBJ_D, 2.09 ± 0.19 m au SLBJ_{Av} et 2.08 ± 0.19 m au SLBJ_{Arr}. Pour ce qui en est du test de changement de direction, les escrimeurs l'ont complété en 3.016 ± 0.085 s au 505_{ModG}, 2.988 ± 0.101 s au 505_{ModD}, 2.986 ± 0.101 s au 505_{ModAv} et 3.018 ± 0.081 au 505_{ModArr}.

Tableau 4.2 Données des tests balistiques

Variabes	Moyenne	Écart type	Valeur minimale	Valeur maximale
SJ h (m)	0.37	0.07	0.30	0.52
SJ FT:CT	1.11	0.35	0.69	1.75
CMJ h (m)	0.41	0.07	0.31	0.54
CMJ FT:CT	0.67	0.12	0.51	0.95
DJ h (m)	0.46	0.14	0.30	0.72
DJ FT:CT	1.93	0.39	1.45	2.67
SLBJ_G (m)	2.09	0.18	1.75	2.42
SLBJ_D (m)	2.08	0.21	1.66	2.32
SLBJ_{Av} (m)	2.09	0.19	1.66	2.32
SLBJ_{Arr} (m)	2.08	0.19	1.75	2.42
505_{ModG} (s)	3.016	0.085	2.831	3.116
505_{ModD} (s)	2.988	0.101	2.838	3.130
505_{ModAv} (s)	2.986	0.101	2.838	3.130
505_{ModArr} (s)	3.018	0.081	2.831	3.116

SJ h = hauteur au saut sans contremouvement; SJ FT:CT = ratio entre temps d'envol et temps de contact au saut sans contremouvement; CMJ h = hauteur au saut avec contremouvement; CMJ FT:CT = ratio entre temps d'envol et temps de contact au saut avec contremouvement; DJ h = hauteur au saut en contrebas; DJ FT:CT = ratio entre temps d'envol et temps de contact au saut en contrebas; SLBJ_G = distance au saut en longueur à une jambe avec jambe gauche; SLBJ_D = distance au saut en longueur à une jambe avec jambe droite; SLBJ_{Av} = distance au saut en longueur à une jambe avec jambe avant; SLBJ_{Arr} = distance au saut en longueur à une jambe avec jambe arrière; 505_{ModG} = temps au test de changement de direction avec appui sur jambe gauche; 505_{ModD} = temps au test de changement de direction avec appui sur jambe droite; 505_{ModAv} = temps au test de changement de direction avec appui sur jambe avant; 505_{ModArr} = temps au test de changement de direction avec appui sur jambe arrière.

Les asymétries entre jambe avant et arrière (en termes de pourcentage) au SLBJ et 505_{Mod} pour chacun des participants sont présentées dans le Tableau 3. Il faut noter qu'un pourcentage négatif signifie que la longueur du saut au SLBJ_{Av} est plus grande que celle au SLBJ_{Arr}, tandis qu'il signifie un temps plus long (donc moins performant) au 505_{ModAv} qu'au 505_{ModArr}. Au contraire, un pourcentage positif signifie que la longueur du saut au SLBJ_{Arr} est plus grande que celle au SLBJ_{Av},

tandis qu'il signifie un temps plus long (donc moins performant) au 505_{ModArr} qu'au 505_{ModAv}. Au SLBJ, 62 % (8/13) des participants ont démontré une asymétrie négative. Au 505_{Mod}, 31 % (4/13) participants ont démontré une asymétrie négative. Pour SLBJ, les plus grandes asymétries négatives et positives rencontrées étaient de -8.5 et 7.8 %, respectivement. Pour 505_{Mod}, les plus grandes asymétries négatives et positives rencontrées étaient de -235 et 4.1 %, respectivement.

Les corrélations Pearson entre classement national et données anthropométriques sont présentées dans le Tableau 4. Toutes les corrélations étaient négatives et allaient de -0.28 à -0.64. Les corrélations large ($r \leq -0.5$) étaient celles avec la taille ($r = -0.64$) et la masse corporelle ($r = -0.59$).

Le tableau 5 présente les corrélations du classement national et les données recueillies (hauteur et FT:CT) lors des sauts sur plateforme de force (SJ, CMJ et DJ). Toutes les corrélations positives étaient petites ($0.1 \leq r < 0.3$) ou triviales ($0 \leq r < 0.1$). Les seules corrélations négatives étaient avec SJ FT:CT ($r = -0.35$) et DJ FT:CT ($r = -0.42$).

Le tableau 6 présente les corrélations du classement national et les données des tests de terrain (SLBJ et 505_{Mod}). Toutes les corrélations positives étaient celles liés au 505_{Mod}, tandis que toutes celles négatives étaient en lien avec SLBJ. Il faut noter qu'une corrélation positive entre le classement national et 505_{Mod}, veut dire qu'une tendance existe pointant au fait que les athlètes placés plus haut au classement complétaient le 505_{Mod} plus rapidement. La corrélation la plus forte au SLBJ était celle pour le saut de la jambe gauche ($r = -0.38$). Pour ce qui en est du 505_{Mod}, toutes les corrélations se sont avérées larges, particulièrement lorsque l'athlète utilisait sa jambe gauche pour appui ($r = 0.65$).

Tableau 4.3 Pourcentage d'asymétrie entre jambe avant et arrière au SLBJ et 505Mod

Participant	SLBJ (%)	505 _{Mod} (%)
1	-8.5	0.9
2	-3.3	1.4
3	1.4	-2.3
4	-6.1	0.0
5	0.0	-1.3
6	-1.3	2.6
7	-1.0	4.1
8	-1.6	2.3
9	5.2	-0.7
10	7.8	-0.3
11	3.8	3.6
12	-2.1	1.4
13	-6.5	2.3

SLBJ = saut en longueur à une jambe; 505_{Mod} = test de changement de direction.

Un pourcentage négatif signifie une meilleure performance au SLBJ_{Av} qu'au SLBJ_{Ar} et une performance plus faible au 505_{ModAv} qu'au 505_{ModAr}. Vice versa pour un pourcentage positif. (Voir description du tableau 3 pour plus d'information).

Tableau 4.4 Corrélations Pearson entre classement national et les données anthropométriques

	Âge	Taille	MC	IMC	PGC
Classement national	-0.40	-0.64*	-0.59*	-0.32	-0.28

MC = masse corporelle; IMC = indice de masse corporelle; PGC = pourcentage de graisse corporelle

*Corrélation significative avec le classement national ($p < 0.05$)

Tableau 4.5 Corrélations Pearson entre classement national et données des tests sur plateforme de force

	SJ h	SJ FT:CT	CMJ h	CMJ FT:CT	DJ h	DJ FT:CT
Classement national	0.27	-0.35	0.12	0.04	0.26	-0.42

SJ h = hauteur au saut sans contremouvement; SJ FT:CT = ratio entre temps d'envol et temps de contact au saut sans contremouvement; CMJ h = hauteur au saut avec contremouvement; CMJ FT:CT

= ratio entre temps d'envol et temps de contact au saut avec contremouvement; DJ h = hauteur au saut en contrebas; DJ FT:CT = ratio entre temps d'envol et temps de contact au saut en contrebas;

Tableau 4.6 Corrélations Pearson entre classement national et tests de terrain

	SLBJ _G	SLBJ _D	SLBJ _{Av}	SLBJ _{Arr}	505 _G	505 _D	505 _{Av}	505 _{Arr}
Classement national	-0.38	-0.16	-0.17	-0.36	0.65*	0.53	0.59*	0.59*

SLBJ_G = distance au saut en longueur à une jambe avec jambe gauche; SLBJ_D = distance au saut en longueur à une jambe avec jambe droite; SLBJ_{Av} = distance au saut en longueur à une jambe avec jambe avant; SLBJ_{Arr} = distance au saut en longueur à une jambe avec jambe arrière; 505_{ModG} = temps au test de changement de direction avec appui sur jambe gauche; 505_{ModD} = temps au test de changement de direction avec appui sur jambe droite; 505_{ModAv} = temps au test de changement de direction avec appui sur jambe avant; 505_{ModArr} = temps au test de changement de direction avec appui sur jambe arrière.

*Corrélation significative avec le classement national ($p < 0.05$)

Une régression logistique a été utilisée pour différencier entre les escrimeurs à l'intérieur du classement en excellence (6 athlètes) et élite (7 athlètes). En prenant uniquement les tests anthropométriques, le meilleur modèle de prédiction incluant la taille et la masse corporelle, était en mesure de correctement classifier 83.3% des athlètes excellence (5 athlètes sur 6) et 85.7% des athlètes élites (6 athlètes sur 7) et en général classifié correctement 84.6 % des athlètes dans leurs catégories respectives. L'ajout d'autres paramètres anthropométriques n'ajoutait pas au pouvoir de la régression logistique de correctement classifier les athlètes. Lorsque les résultats des tests balistiques sont entrés dans la régression logistique, le meilleur modèle de prédiction incluant SLBJ et 505_{Mod}, tous deux avec jambe avant et arrière, était en mesure de correctement classifier 83.3% des athlètes excellence (5 athlètes sur 6) et 85.7% des athlètes élites (6 athlètes sur 7) et en général classifié correctement 84.6 % des athlètes dans leurs catégories respectives. L'ajout d'autres tests balistiques n'ajoutait pas de pouvoir à l'analyse de régression logistique de correctement classifier les athlètes. Le meilleur modèle de prédiction incluant SLBJ et 505_{Mod}, tous deux avec jambe avant et arrière ainsi que la taille, était en mesure de correctement classifier 100% des athlètes excellence (6 athlètes sur 6) et 100% des athlètes élites (7

athlètes sur 7) et donc classifié correctement tous les athlètes dans leurs catégories respectives. Ce modèle était le plus simple (requérant le moins de variables) pour obtenir une classification parfaite (tous les 13 athlètes dans leurs catégories respectives).

Le tableau 7 présente les rangs en percentile (25^e, 50^e et 75^e) en rapport aux tests qui permettent de classer correctement les athlètes excellence et élite, soit la taille, SLBJ et 505_{Mod}, tous deux avec jambe avant et arrière. Tous ces tests ont démontré des différences significatives (au moins $p < 0.05$) entre le 25^e et 75^e rang centile.

Tableau 4.7 Rangs centiles sur tests servant à classer les athlètes

Centile	Taille (cm)	SLBJ _{Av} (m)	SLBJ _{Arr} (m)	505 _{ModAv} (s)	505 _{ModArr} (s)
25	176.5†	1.96*	1.94†	3.086‡	3.081*
50	180.0	2.18	2.12	2.971	3.041
75	183.2	2.25	2.21	2.890	2.975

SLBJ_{Av} = distance au saut en longueur à une jambe avec jambe avant; SLBJ_{Arr} = distance au saut en longueur à une jambe avec jambe arrière; 505_{ModAv} = temps au test de changement de direction avec appui sur jambe avant; 505_{ModArr} = temps au test de changement de direction avec appui sur jambe arrière.

* Différence significatives avec le 75^e rang centile ($p < 0.05$)

† Différence significatives avec le 75^e rang centile ($p < 0.01$)

‡ Différence significatives avec le 75^e rang centile ($p < 0.001$)

CHAPITRE V

DISCUSSION

Cette étude cherchait à recueillir des données de tests anthropométriques et balistiques sur les escrimeurs masculins classés nationalement et établir le lien entre ces tests la performance en escrime. De plus, un objectif secondaire de la présente recherche était d'inspecter le pouvoir discriminatoire de ces tests à des fins de sélection d'athlètes en escrime dans une perspective de haute performance.

5.1 Anthropométrie

5.1.1 Comparaison entre normes rapportées

Tout d'abord les données anthropométriques recueillies avec l'échantillon de la présente étude sont similaires à celles recueillies chez les escrimeurs adultes masculins dans des évaluations précédentes. L'âge du groupe étant de 21.5 ± 3.1 ans est entre les 19.0 ± 0.8 et 25.6 ± 3.7 ans rapportés antérieurement (7). En termes de taille, les athlètes de la présente étude, mesuraient 180.7 ± 6.4 cm, ce qui correspond aussi aux valeurs (174 ± 5 et 184 ± 8 cm) rapportées par d'autres chercheurs (7). La masse corporelle rapportée par la présente étude est de 75.9 ± 10.9 kg, et se situe entre les 69.5 ± 15.1 et 81.9 ± 9.9 kg précédemment rapportée (7). L'IMC des

escrimeurs de cette recherche était de $23.2 \pm 2.9 \text{ kg/m}^2$ et correspond aux résultats précédents (22.2 ± 1.9 et $24.2 \pm 2.2 \text{ kg/m}^2$) rapportés dans la littérature (7). Finalement, le pourcentage de graisse corporelle des escrimeurs de cette étude était en moyenne $13.0 \pm 3.2 \%$, ce qui est semblable aux données rapportées pour d'autres escrimeurs (9.6 ± 1.2 et $15.3 \pm 3.9\%$) (7). Donc il semble que les escrimeurs ayant pris part à la présente étude correspondent aux valeurs anthropométriques déjà rapportées pour ce type d'athlètes. Il faut noter que la revue de la littérature semble pointer vers le fait que des différences morphologiques existent entre les escrimeurs de différentes armes, tels les épéistes et fleurettistes par exemple (7).

5.1.2 Liens avec la performance

Il a été constaté que certaines données anthropométriques de base étaient fortement corrélées avec le classement national, notamment la masse corporelle ($r = -0.59$) et la taille ($r = -0.64$). Ceci amène à croire que le succès en escrime est lié d'une certaine façon à l'anthropométrie. Bien que l'étude de Tsolakis et al. (6) a fait des calculs de corrélations avec un groupe de participants qui incluait des femmes et des hommes, il faut noter que les chercheurs avaient également trouvé des corrélations modérées entre les données anthropométriques et certains tests spécifiques d'escrime. En effet, des corrélations de ($r = 0.31$ et $r = 0.36$) ont été rapportées entre le temps pris par l'athlète pour faire une fente d'escrime et la surface de section de la cuisse avant et le pourcentage de graisse corporelle, respectivement. De plus, des corrélations de ($r = -0.47$ et $r = 0.44$) ont été rapportées entre un test de changement de direction avec des déplacements d'escrime et l'IMC et la masse corporelle maigre, respectivement. Ceci vient appuyer le fait que certains paramètres morphologiques jouent un rôle

important dans la performance en escrime. Bien qu'aucun des paramètres anthropométriques ne soit aussi fortement corrélé à la performance dans l'étude mentionné comparé à la présente, il est possible que le fait que le groupe soit composé d'hommes et de femmes contribue à masquer les liens entre morphologie et performance. Il est donc important que de futures études visant à créer un profil anthropométrique des escrimeurs ne mettent pas les données des hommes et femmes ensemble, puisque la morphologie des deux sexes est bien différentes, si l'on s'en tient aux recherches faites dans d'autres sports (51,52). Conséquemment il faudrait que davantage de recherches chez les escrimeurs masculins soient faites afin de confirmer et approfondir les données de la présente recherche. En appui à ces résultats, une étude avec des joueurs de rugby semi-professionnels a rapporté que les joueurs avec des différences significative de masse corporelle et des valeurs totales de plis cutanés avaient aussi des différences significatives dans les temps de sprints sur 20 et 40 m (53). Cependant, il est aussi important de voir si l'anthropométrie joue un rôle clé non-seulement lors d'exercices simulant la gestuelle de combat, mais aussi durant des matchs simulés et tournois. À des fins de comparaison, Martín-Matillas et al. (54) ont rapporté que les joueuses de la ligue espagnole de volleyball de première division qui étaient plus grande, plus ectomorphes et avec une plus grande masse musculaire avaient des performances significativement meilleures.

Une autre question importante provient de l'effet du profil anthropométrique en fonction de l'arme utilisée. Compte tenu des différences entre la gestuelle, la durée des matchs, les proportions d'utilisation des différentes filières énergétiques ainsi que la stratégie employée en combat, il est possible que le profil anthropométrique type, voir idéal, soit différent pour chaque arme, tel qu'indiqué au dessus et qu'il soit distinct chez les hommes et les femmes. Au rugby, par exemple, les avants et arrières ont des rôles distincts et produisent des actions différentes durant un match. Chez les joueurs, des différences significatives existent dans la taille, la masse corporelle et la somme des plis cutanés entre les avants et arrières au niveau junior (55).

5.2 Tests balistiques

5.2.1 Comparaison entre normes rapportées

La batterie de tests balistiques a permis de recueillir des données sur divers mouvements explosifs chez les escrimeurs masculins classés nationalement. La seule autre étude à avoir évalué des escrimeurs de haut niveau, a rassemblé les données des athlètes féminins et masculins (6). Toutefois, une comparaison entre les deux études souligne que les athlètes de la présente recherche sautent plus haut au SJ (0.37 ± 0.07 et 0.28 ± 0.09 m), CMJ (0.41 ± 0.07 et 0.33 ± 0.09 m) et DJ (0.46 ± 0.14 et 0.31 ± 0.09 m) que leurs homologues de l'étude précédente. Lorsque ces données sont comparées à celles de joueurs de badminton de l'équipe nationale masculine de la Malaisie, ces derniers ont des valeurs moyennes de sauts de 0.42 ± 0.05 , 0.46 ± 0.05 et 0.34 ± 0.05 m au SJ, CMJ et DJ, respectivement (38). Si l'on compare avec les données rapportés chez les karatéka juniors Français, ils sautaient 0.39 ± 0.05 et 0.42 ± 0.05 m au SJ et CMJ, respectivement (39). De leur côté, les karatéka Brésiliens sur l'équipe nationale sénior atteignaient 0.50 ± 0.02 m au CMJ (40). La moyenne d'âge du groupe de la présente étude est de 21.5 ± 3.1 ans et donc similaire à l'âge des karatéka Français juniors (22 ± 3 ans). Ceci est en contraste aux karatéka Brésiliens avec un âge moyen de 28.0 ± 5.1 ans. Il est donc possible que la différence d'âge influence la différence des hauteurs rapportées. Cependant, les joueurs de badminton Malaisiens, eux, avaient un âge similaire au groupe présenté dans notre recherche ainsi que les karatéka Français. Donc, bien qu'il est possible que l'âge joue un certain rôle dans la hauteur de saut, du moins pour CMJ, il est aussi fort probable que les résultats inférieurs de notre groupe sont dus au fait que ces athlètes ne pratiquent pas

souvent des sauts verticaux et donc qu'ils n'ont pas acquis les capacités physiques nécessaires à ce type de sauts. Pour ce qui en est des différences entre les DJ rapportés dans la littérature et les valeurs de la présente étude, il est possible que la plus grande hauteur de saut de nos athlètes soit due au fait que la hauteur initiale de laquelle les athlètes exécutaient le DJ était plus basse (0.17 m) comparée à l'étude des escrimeurs (6) et joueurs de badminton (38) devaient sauter de 0.40 m. En effet, Peng (56) a rapporté que l'augmentation de la hauteur initiale au DJ est associée à une diminution de la hauteur du saut. Des différences significatives au niveau de la hauteur du saut étaient constatées entre des hauteurs de 0.50 m et 0.20 m, 0.60 et 0.20 m ainsi que 0.30 et 0.60 m avec les sauts initiés plus bas atteignant des hauteurs supérieures.

En termes de FT:CT, il est difficile de faire une comparaison avec l'étude des escrimeurs de haut niveau (6), puisqu'ils ont rapporté leurs données en termes de ratio entre la hauteur de saut (calculée à partir du temps d'envol) et le temps de contact. De plus, ces chercheurs n'ont pas utilisé de plateforme de force pour les sauts et donc CT ne pouvait être calculé lors de SJ et CMJ. Il en est de même pour l'étude des joueurs de badminton de la Malaisie (38). Notre groupe avait en moyenne une valeur de FT:CT de 1.93 ± 0.39 . Si l'on compare cette valeur avec celles rapportées dans la littérature, les résultats suivants sont constatés. Trois études ayant utilisées un appareil sur rails, angulé à 30° par rapport à l'horizontale, avec une hauteur initiale du DJ unilatéral à 0.30 m et un atterrissage sur plateforme de force, elle aussi placée à un angle de 30°, ont rapportés les FT:CT suivants. Douze joueurs de rugby professionnels ont en moyenne produits des FT:CT de 1.75 (57). Dans un autre étude (58) avec 13 joueurs de rugby professionnels, des valeurs moyennes de 1.64 ont été rapporté. Finalement une étude (59) avec des athlètes d'athlétisme (7 femmes et 8 hommes), avec de l'expérience avec les sprints, a rapporté des valeurs moyennes entre 1.66 et 1.73, respectivement. Mis à part le rôle que joue le sexe dans les différences observées, la dernière étude avec une population mixte, le fait que la hauteur initiale au DJ était plus élevée dans ces études (0.30 m) comparé à la notre

(0.17 m) peut expliquer la diminution du FT:CT chez leurs participants. Wang & Peng (60) ont rapporté que les FT:CT des DJ unilatéraux d'une hauteur de 0.50 m étaient significativement inférieurs à ceux observés lorsque le test a été effectué d'une hauteur de 0.30 m. De plus, les FT:CT dans l'étude de Peng (56) diminuaient avec l'augmentation de la hauteur initiale au DJ. Donc, vu la différence de 0.13 m entre la hauteur de départ au DJ de notre étude et celles utilisant l'appareil sur rails, il est possible que cela explique le FT:CT supérieur des athlètes observés lors de notre étude. Tsolakis et al. (6) ont aussi rapporté le paramètre de la différence entre CMJ et SJ en guise d'index de l'habileté à utiliser le cycle étirement-raccourcissement. L'étude a rapporté une valeur de 0.05 m. Si l'on procède au même calcul, notre groupe a une valeur similaire de 0.04 m. Ce constat est intéressant puisque Ebben & Petushek (36) ont aussi rapporté que les temps jusqu'à l'envol sont similaires entre femmes et hommes, en dépit de la différence dans les hauteurs de sauts, donc il est possible, que les gains en hauteur du CMJ comparé au SJ soient identiques entre les hommes et femmes en escrime ce qui expliquerait la similitude parmi les résultats des deux études. L'étude sur les joueurs de badminton (38), a rapporté un ratio entre CMJ et SJ de 1.10 ± 0.06 tandis que nos résultats indiquent un ratio de 1.12 ± 0.07 . Il semble donc que les escrimeurs de notre étude ont un ratio similaire entre CMJ et SJ que les joueurs de badminton de haut niveau.

Les études en escrime, karaté et badminton n'ont pas fait de tests de sauts en longueur et encore moins de SLBJ comme dans la présente étude. Si l'on se tourne vers d'autres études ayant testées SLBJ, les résultats suivants sont rapportés. Une étude chez des hommes militaires (61) a rapporté en moyenne une distance de 2.08 m, tandis qu'une recherche (37) chez des hommes physiquement actifs, étudiant à l'université, une distance moyenne de 1.89 m a été rapporté. Ces deux recherches ont laissé leurs participants utiliser les membres supérieurs lors du saut et les participants devaient atterrir sur la jambe à partir de laquelle le saut était effectué. Maulder & Cronin (49) ont rapporté que des jeunes hommes actifs sautaient une distance de 1.66 ± 0.16 et 1.67 ± 0.18 m, avec leur jambe dominante et non-dominante,

respectivement. La dominance étant assignée à la jambe avec laquelle le participant était plus à l'aise à donner un coup de pied à un ballon. Une étude avec des sprinters de niveau régional et national (record personnel au 100 m en moyenne de 11.67 ± 0.46 s) (33), a rapporté une distance de 1.97 ± 0.02 et 1.93 ± 0.18 m aux sauts, avec la jambe avant et arrière aux blocs de départ, respectivement. Une autre étude avec des sprinters de niveau régional et national (record personnel au 100 m en moyenne de 10.87 ± 0.36 s) (32), a rapporté une distance de 2.09 ± 0.09 et 2.10 ± 0.10 m aux sauts, avec la jambe avant et arrière aux blocs de départ, respectivement. Pour ces trois études les mains ont dû demeurer sur les hanches lors du saut et l'atterrissage a dû être effectué à deux jambes. Si l'on compare ces résultats à ceux de notre étude, 2.09 ± 0.19 et 2.08 ± 0.19 m, pour la jambe avant et arrière, respectivement, nos résultats semblent être supérieurs à la plupart de ceux rapportés dans la littérature. Cependant, il faut noter que la technique d'exécution du SLBJ peut influencer les distances atteintes sur le test. En effet, il a été démontré qu'un atterrissage unilatéral, lors d'un saut vertical, augmentait le valgus au niveau du genou ainsi que démontrait d'autres différences dans la cinématique du genou ainsi que dans l'EMG des muscles croissant l'articulation du genou, en comparaison avec un atterrissage bilatéral (62). Donc, un atterrissage unilatéral pourrait forcer les participants à diminuer leur performance au SLBJ, s'ils doivent atterrir sur une jambe, afin de limiter les forces de réaction du sol, qui pourraient engendrer des blessures lors de l'atterrissage. Cela peut expliquer les résultats inférieurs rapportés pour les jeunes hommes actifs (37), bien que cela ne semble pas avoir influencé la performance des militaires (61). Pour ce qui est de l'utilisation des membres inférieurs, cette stratégie a été documentée et analysée pour le saut vertical (63,64). Il a été démontré que cette stratégie augmentait à la fois la hauteur et la vitesse du centre de masse de l'individu au décollage et en combinaison ces deux facteurs résultaient en un saut plus haut. Donc, il est possible que l'utilisation des membres supérieurs permette aux participants d'atteindre une distance supérieure au SLBJ. Cela peut expliquer les résultats inférieurs des personnes actives (49) de façon récréative ainsi que les sprinteurs plus lents (33).

Cependant, cela ne semble pas avoir joué un rôle pour les sprinteurs plus rapides (32). Compte tenu du fait que les directives pour le SLBJ étaient différentes entre les divers études, les comparaisons sont difficiles. Par contre, vu les probables avantages de l'utilisation des membres supérieurs ainsi que de l'atterrissage bilatéral, il semble que les escrimeurs de notre études ne sont pas aussi performants au SLBJ que les participants de l'étude des militaires (61) et ceux de l'études sur les sprinters plus rapides (32). Avec des résultats semblables au SLBJ, ils n'ont pas eu recours à un atterrissage bilatéral ou à l'utilisation des membres supérieurs, respectivement.

Par rapport au 505_{Mod}, il est difficile de faire des comparaisons avec d'autres études rapportant des résultats de tests de changement de direction, puisque la présente étude est la première à utiliser ce test. Il faudra que de futures recherches utilisent ce test dans le cadre de l'évaluation de changement de direction, surtout pour des sports où l'athlète doit accomplir des changements de direction en faisant toujours face en avant.

5.2.2 Liens avec la performance

La batterie de tests balistiques a démontrée plusieurs constats important en lien avec l'escrime. Premièrement, les trois tests verticaux, tous réalisés sur plateforme de force, soit SJ, CMJ et DJ, pour lesquels les mesures de hauteur et FT : CT étaient calculés ont démontré des liens très différents avec le classement des escrimeurs.

Les hauteurs de sauts au SJ, CMJ et DJ avaient tous des petites corrélations positives avec le classement national. Contrairement à nos résultats, Tsolakis et al. (6) ont rapporté des corrélations modérées ($r = -0.46$ et $r = -0.42$) et large ($r = -0.50$) entre le temps requis pour compléter une fente et la hauteur au SJ, CMJ et DJ, respectivement. De plus, les mêmes chercheurs ont rapporté des corrélations larges (r

= -0.63 et $r = -0.54$) et très large ($r = -0.70$) entre le temps requis pour compléter un test de changement de direction et la hauteur au SJ, DJ et CMJ, respectivement. Considérant le fait que la population utilisée par Tsolakis et al. (6) se composait d'hommes et femmes, il est difficile de faire une comparaison directe entre les corrélations rapportées par ces chercheurs et nos résultats. Cependant la cohorte mixte aurait pu influencer ces résultats. Le fait qu'aucune des hauteurs de saut ne soit liée au classement national ($r < 0.3$) semble indiquer que la hauteur n'est peut-être pas un facteur d'une très grande importance pour la performance en escrime. De plus, une autre étude en escrime a rapporté que la hauteur de saut au SJ, CMJ et DJ n'était pas en mesure de distinguer entre les escrimeurs de niveau supérieur et inférieur (5). Ceci a aussi été rapporté chez les joueurs de badminton (38). Maulder et al. (32) ont rapporté que bien que les hauteurs de sauts ne serait pas fortement associée aux temps de sprints, la puissance moyenne et maximale l'était ($r > 0.7$). Il est donc important que les évaluateurs et préparateurs physiques utilisent d'autres paramètres que seulement la hauteur d'un saut lors de leur évaluation pour pouvoir cerner plus adéquatement la performance d'un athlète.

De leur côté, les FT:CT indiquaient des liens différents avec le classement des escrimeurs. FT:CT du CMJ avait une corrélation triviale avec la classification nationale. Cependant, le même paramètre au SJ est modérément corrélé, tandis qu'au DJ il l'est davantage. Si l'on compare ces données avec celles rapportées par Tsolakis et al. (6), des corrélations similaires ont été rapportées pour les deux études pour FT:CT du DJ. En effet, ces chercheurs ont rapportés des corrélations de ($r = -0.41$ et $r = -0.44$) entre FT:CT de DJ et le temps requis pour compléter une fente et le temps requis pour compléter un test de changement de direction, respectivement. Similairement, nous avons trouvé une corrélation de ($r = -0.42$) entre le classement national et FT:CT de DJ. Il s'avère donc que le paramètre FT:CT, du moins pour SJ et DJ, est d'importance pour les escrimeurs à l'encontre des hauteurs obtenues pour les trois sauts. Ceci est un point très important puisqu'il démontre l'importance de

prendre en considération le temps requis pour la production de force lorsqu'il est question de performance dans un sport explosif tel que l'escrime. En effet, il a été rapporté que les escrimeurs de niveau supérieur prennent en moyenne 0.016 s de plus pour compléter une fente comparé à leurs homologues de niveau moyen, mais parcourent en moyenne 0.26 m de plus. Si l'on utilise un indice de force réactive modifié (RSI_{mod}), mesurant le ratio entre la hauteur du saut et le temps requis du moment d'initiation du saut jusqu'au moment d'envol, tel que proposé par Ebben & Petushek (36) pour l'analyse de mouvements explosifs, pour comparer les escrimeurs de niveau élevé et moyen, il apparaît que les escrimeurs supérieurs ont en moyenne un RSI_{mod} de 2.33 m/s lors de la fente et 1.93 m/s pour les athlètes moyens. Tout comme un RSI_{mod} plus élevé, un FT:CT plus élevé démontre une optimisation entre la hauteur ou la distance parcourue pour un temps d'application de force dans le sol. Le fait qu'il existe une corrélation négative de ce paramètre pour le SJ et DJ avec le classement national, révèle possiblement l'importance de cette optimisation pour le succès en escrime. Récemment, Suchomel et al. (65) ont analysé la différence dans les RSI_{mod} de divers sports, à la fois du côté féminin que masculin. Ils ont rapporté qu'en plus des différences entre hommes et femmes, divers sports présentent des RSI_{mod} différents. Ainsi les joueurs de soccer avaient une valeur moyenne de 0.44 m/s au RSI_{mod} , tandis que les joueurs de tennis étaient à 0.30 m/s. Étant donné que ce paramètre semble être propre au sport, il serait intéressant d'approfondir ces connaissances en escrime, puisque l'explosivité est d'une grande importance dans ce sport. La compréhension du profil balistique (relativement rapide ou lent) spécifique aux escrimeurs aidera les préparateurs physiques dans la conception de meilleures méthodes d'entraînement pour augmenter la réactivité des athlètes.

Au niveau du SLBJ, les plus fortes corrélations avec le classement national étaient celles au $SLBJ_G$ ($r = -0.38$) et $SLBJ_{Ar}$ ($r = -0.36$). Le fait que SLBJ gauche a une corrélation aussi proche de celle du SLBJ de la jambe arrière s'explique par le fait que 10 sur 13 des escrimeurs de notre étude étaient droitiers. Pour ce qui en est des

différences dans les corrélations entre jambe gauche et droite ainsi que jambe avant et arrière, les corrélations supérieures avec la jambe arrière peuvent probablement être expliquées par le fait que lors des phases d'attaques la jambe arrière propulse l'escrimeur et donc le SLBJ ce rapproche de cette actions puissante. En effet, Guilhem et al. (41) ont rapporté que malgré la force maximale supérieure de la jambe avant au niveau des extenseurs de la hanche et du genou, la vitesse maximale atteinte par des sabreuses lors d'un marché-fente était corrélé non-seulement à la force concentrique des extenseur du genou de la jambe avant ($r = 0.81$), mais aussi à celle des extenseur de la hanche ($r = 0.60$) et du genou ($r = 0.79$) de la jambe arrière. Il faut noter que dans l'étude de Maulder et al. (32), des corrélations petites et modérées étaient trouvées entre les sauts verticaux et horizontaux avec la performance au sprint sur 10 m. Mais que tel que mentionné plus haut, c'est la puissance aux sauts verticaux qui s'est avérée très reliée aux sprints. Il est donc possible qu'un paramètre tel que FT:CT puisse révéler une corrélation plus élevée entre SLBJ et le classement national. Ceci est un sujet qui devra être exploré davantage dans le futur.

Si l'on considère les quatre tests de sauts faisant partie de notre batterie évaluative, soit SJ, CMJ, DJ et SLBJ, on remarque que le lien entre les hauteurs et distances atteintes par les athlètes et le classement national varie. En effet, SLBJ_G et SLBJ_{ARR} sont ceux qui démontrent les corrélations les plus fortes et donc semblent être davantage relié à l'escrime que les tests de sauts verticaux. Ceci parallèle ce que Adrian & Klinger (34) ont rapporté par rapport à l'importance de l'impulsion horizontale pour la vitesse de la fente, ainsi que l'effet négatif causé par l'impulsion verticale au mouvement. Visiblement, la poussée de la jambe arrière semble avoir une grande importance pour l'escrimeur. D'autre part, Hewit et al. (4) ont rapporté que la direction du saut importe pour la hauteur ou distance qu'un individu peut atteindre. Ces chercheurs ont indiqué que la participante avec le plus haut saut vertical, avait la distance la moins élevée au saut en longueur. Conséquemment, étant donné l'importance de la direction horizontale de l'impulsion lors de la fente, l'un des

mouvements les plus récurrents en escrime, il serait attendu qu'un mouvement avec une plus grande composante horizontale soit davantage lié au sport que les sauts verticaux. Maulder et al. (32) ont aussi rapporté ceci avec une corrélation plus forte au SLBJ avec le sprint sur 10 m qu'avec SJ ou CMJ.

Les corrélations les plus fortes avec le classement national, étaient celles avec le 505_{Mod} . En effet, à lui seul, 505_{ModG} explique 42 % de la variance dans le classement national. Il est possible que le fait que 505_{Mod} soit autant corrélé avec le rang des athlètes soit expliqué la nécessité d'effectuer des changements de directions rapides en escrime, et ce, malgré que leur volume varie entre les sexes et armes (10). L'étude sur les escrimeurs de haut niveau de Tsolakis et al. (6) a même utilisé un test de changement de direction (avec un déplacement propre à l'escrime) comme substitut à la performance en escrime. Cependant, si l'on compare ces résultats avec d'autres sports, il semble que l'habileté à changer de direction ne soit pas toujours liée à la performance dans le cadre sportif. En effet, au football australien il a été rapporté que les joueurs significativement plus rapides sur 10 m ainsi que sur un test de changement de direction, n'étaient pas plus performant sur un test d'agilité requérant une réaction défensive à un jeu préenregistré sur vidéo (66). Une revue sur l'agilité de Sheppard & Young (67) soulève ce point et note que la grande majorité des tests se disant d'agilité, ne sont en fait que des tests de changement de direction. Les chercheurs expliquent que l'agilité, en plus de la composante physique de changement de direction, comprend aussi une composante cognitive telle qu'une reconnaissance d'un stimulus, puis une réaction physique à ce dernier. Les résultats de notre recherche semblent indiqués que l'habileté à changer de direction, à elle seule, prédit déjà en partie la performance en escrime. Si l'on se base sur le classement national, il serait intéressant d'étudier l'agilité chez les escrimeurs car les changements de direction dans ce sport, surtout ceux exécutés rapidement, sont probablement dus à une action initiée par l'adversaire.

5.3 Asymétrie

Des données ont été acquises afin d'évaluer le niveau d'asymétrie existant entre les deux jambes pour SLBJ ainsi que 505_{Mod}. Une revue sur les critères de retour au jeu suite à une chirurgie du LCA, a proposé une valeur d'asymétrie de 10 % du membre affecté par rapport à celui non-affecté pour la distance atteinte au SLBJ lorsqu'il est question d'athlètes de haut niveau (68). De plus, Müller et al. (69) ont rapporté que les athlètes ayant retourné à leur sport sept mois suivant une chirurgie du LCA, avait une asymétrie entre 8 et 14 % au SLBJ. Conséquemment, il semble qu'une asymétrie entre environ 10 et 15 % permette à un athlète de prendre part à son sport. Cependant, Hewit et al. (70) ont soulevé le fait que les barèmes de retour au jeu et risque de blessure ne sont pas toujours précis et que certains individus peuvent tout de même être à risque de blessure même lorsqu'il présentent des niveaux d'asymétrie plus bas et à l'encontre un niveau d'asymétrie plus élevé peut ne pas affectés d'autres individus. Bien que les asymétries observées dans notre étude pour les deux tests n'étaient pas très grandes (< 10 %), le niveau d'asymétrie démontré était supérieur au SLBJ qu'au 505_{Mod}. L'athlète avec la plus grande asymétrie a démontré une valeur de -8.5 %. Il apparaît que les escrimeurs ayant pris part à la présente étude ne soit donc pas à grand risque de blessure au niveau du LCA, du moins. Cependant, il faut noter que le test de SLBJ de notre étude a été effectué avec l'action des membres supérieurs et donc aurait pu partiellement masquer l'asymétrie présente entre les membres inférieurs. Conséquemment il est possible que les escrimeurs aient des asymétries supérieures à celles rapportées et donc soient à un plus grand risque de blessure au niveau du LCA que présumé.

Pour SLBJ, les trois participants avec les plus grandes asymétries, étaient aussi ceux qui avaient les plus grande distances de saut au test. Il faut noter que deux d'entre eux avaient une asymétrie négative indiquant une distance de saut plus grande à l'aide de la jambe avant, tandis que le troisième athlète avait un saut supérieur avec sa jambe

arrière. D'après nos résultats et vu la nature asymétrique de l'escrime, il est possible qu'une certaine asymétrie soit avantageuse pour l'athlète. Ceci reste à être vérifié et davantage étudié afin de comprendre le niveau d'asymétrie qui est bénéfique en escrime ainsi que la nature exacte de cette asymétrie, tel qu'indiqué par Guilhem et al. (41) dans leur trouvaille sur le rôle unique de chacune des jambes.

5.4 Sélection d'athlètes

Si l'on s'intéresse au pouvoir discriminatoire de l'anthropométrie dans une optique de sélection d'athlète en escrime, nos résultats démontrent qu'il existe des différences significatives entre les paramètres de taille et masse corporelle chez les escrimeurs de niveau excellence et élite. Les escrimeurs de niveau excellence sont à la fois plus grands et pèsent davantage que leurs homologues élite. De plus, d'après la régression logistique effectuée, la taille et la masse corporelle sont en mesure de correctement classer près de 85% des athlètes selon le niveau excellence ou élite. Bien que Tsolakis et al. (5) ont rassemblé et analysé des données d'escrimeurs féminins et masculins dans leur étude sur des escrimeurs de haut niveau, classés en tant que supérieurs et inférieurs, leurs résultats seront tout de même analysés en guise de comparaison. Ces chercheurs ont rapporté des différences significatives à la taille assise et l'épaisseur du pli cutané au niveau du triceps, sous-scapulaire et à la mi-cuisse, entre les escrimeurs supérieurs et inférieurs. Il semble donc qu'effectivement, certains paramètres morphologiques peuvent jouer un rôle dans la sélection d'athlètes en escrime. En guise de comparaison, Gabbett et al. (71) ont trouvé des différences significatives entre la somme des plis cutanés entre les joueurs de rugby

professionnels et semi-professionnel. Compte tenu de nos résultats et de ceux rapportés dans la littérature, il est important que de futures études évaluent les différences dans les mesures anthropométriques entre les escrimeurs de haut et bas niveau, afin de mieux comprendre les aspects morphologiques d'importance pour le succès dans le sport. Il faut préciser que ces études devront séparer les femmes et les hommes, si l'on voudra tirer des conclusions pertinentes de ces recherches. Il s'agirait tant bien de caractéristiques que l'on peut modifier, tel que la composition corporelle (72) ou encore la surface de section de certaine partie du corps comme les cuisses ou mollets (73), ainsi que des caractéristiques non-modifiables tels que la taille et longueur des segments corporelles qui peuvent jouer un rôle tout aussi important dans la performance (74).

Par rapport à la sélection d'athlètes en escrime, nous notons que pour les tests balistiques, la combinaison des tests la plus simple permettant de classer le mieux les athlètes dans les groupes excellence et élite est celle regroupant SLBJ et 505_{Mod}, tous deux avec jambe avant et arrière. En effet, cette combinaison de tests, d'après la régression logistique effectuée, est en mesure de correctement classer près de 85% des athlètes selon le niveau excellence ou élite. Ceci est d'intérêt puisque ce sont deux tests de terrain pouvant être administrés par les entraîneurs n'ayant pas accès à de l'équipement tel que des plateformes de forces. Bien qu'un système de détection de mouvement ait été utilisé dans le cadre de cette étude pour augmenter la précision des mesures, il est tout de même possible d'administrer le tests à l'aide de chronomètres manuels (75). D'après l'analyse présentée par la présente recherche, il semble que le fait qu'un test requérant une propulsion du corps vers l'avant ainsi qu'un test de changement de direction puisse permettre de distinguer un niveau d'escrime supérieur et inférieur chez des athlètes déjà de haut niveau, est novateur et important en tant que tel. D'autre part, les trois meilleurs escrimeurs les mieux classés au niveau national étaient au moins au 75^e rang centile pour le 505_{Mod} sur les deux jambes, et deux des trois étaient aussi au moins au 75^e rang centile sur SLBJ_{Arr}. Il est

intéressant de noter qu'aucun de ces trois escrimeurs n'était au 75^e rang centile au SLBJ_{Av}, (tous au 50^e rang centile). Ceci est une autre démonstration de l'importance de la jambe arrière dans la propulsion et indique que la façon dont un test unilatéral peut distinguer entre les rôles distincts des deux jambes. Récemment, il a été rapporté qu'au rugby féminin la distance au saut en longueur bilatéral est significativement différente chez les joueuse les plus rapides (50^e rang centile et plus) en termes de temps au sprint sur 30 m, par rapport à leurs homologues plus lentes (en dessous du 50^e rang centile) (76). Étant donné la similitude entre ce test et le SLBJ, en plus de la spécificité unilatérale de ce dernier, il semble qu'effectivement SLBJ peut être un outil utile pour le préparateur physique ainsi que l'entraîneur. Considérant le fait que lors de tournois internationaux d'escrime, une équipe est composée de trois athlètes et d'un substitut, il s'avère que ces deux tests et particulièrement le 505_{mod} pourraient être considérés lors de la sélection d'athlètes.

Il est intéressant de noter que la combinaison de facteurs anthropométriques et balistiques fournit une discrimination parfaite (100%) de tous les athlètes selon le niveau excellence et élite. En effet, la combinaison de la hauteur avec les scores aux tests de SLBJ et 505_{Mod}, aux deux jambes, est ce qui distingue les athlètes de notre étude. De façon intéressante, notre étude présente des différences significatives entre le 25^e et 75^e rang centile pour les mesures de taille, SLBJ et 505_{Mod}. Ceci démontre clairement que les escrimeurs les mieux classés obtiennent de meilleures performances aux tests physiques que ceux moins bien classés. Cependant, tel que mentionné plus haut, il faut se rappeler qu'aucun des meilleurs escrimeurs du classement Canadien n'était au 75^e rang centile ou plus pour le SLBJ_{Av}. Ceci indique qu'une performance inférieure à un certain test ne devrait pas nécessairement alarmer un entraîneur. En effet, la distance au SLBJ_{Av}, n'est probablement pas un facteur d'importance en escrime, compte tenu du rôle propulsif principalement joué par la jambe arrière. Dans ce cas, une distance supérieure au SLBJ_{Av} peut être indicative du fait que l'athlète n'est pas capable d'adéquatement utiliser sa jambe arrière pour se propulser et donc, peut être un handicap par rapport aux escrimeurs supérieurs, qui se

propulsent plus efficacement. Tsolakis et al. (6) ont rapporté que la performance en escrime était principalement prédite par la hauteur au SJ, la circonférence de la taille et le pourcentage de graisse corporelle. Similairement, l'étude d' Agar-Newman & Klimstra (76) a rapporté que la meilleure prédiction en termes de performance au rugby était une combinaison de la masse corporelle et la distance atteinte sur un tests de triples sauts. Ainsi il semble qu'une combinaison spécifique, et probablement unique à chaque sport, de paramètres à la fois anthropométriques et balistiques est en mesure de distinguer entres athlètes de niveau supérieur et inférieur ou prédire la performance sur certains aspects du sport. D'après nos résultats et ceux de Tsolakis et al. (6) c'est aussi le cas en escrime. En escrime masculine, la taille ainsi que l'explosion unilatérale et l'habilité de changer de direction rapidement prédit en effet la performance selon le classement national.

CHAPITRE VI

CONCLUSION

Étant donné que l'escrime est caractérisée par des séquences explosives se déroulant tout au long d'un match et d'une journée compétitive, il est important de comprendre quels aspects de l'entraînement physique sont importants à entraîner et donc quels paramètres clés il faut évaluer et suivre afin de pouvoir adéquatement analyser la performance physique d'un escrimeur.

Il existe très peu d'information dans la littérature sur l'escrime spécifiquement masculine. La plupart des études ayant évalué seulement les hommes en escrime sont d'ordre anthropométrique. Bien que certains paramètres anthropométriques soient importants pour la performance en escrime (tels que la taille ou la circonférence de la cuisse) plusieurs de ces paramètres ne peuvent pas être améliorés par l'entraînement et donc bien qu'ils puissent servir à des fins de sélection d'athlètes, ils demeurent secondaires pour le préparateur physique, à qui revient le travail d'optimiser la performance. En effet, ce sont plutôt les aspects de la performance physique qui sont plus importants, surtout à un niveau sportif élevé dans lequel se retrouvent les athlètes, probablement génétiquement prédisposés au sport qu'ils pratiquent, ayant un physique semblable. C'est sur ces aspects que le préparateur physique peut intervenir. Il doit évaluer l'athlète avant de pouvoir l'entraîner de façon adéquate. Or une évaluation physique pertinente doit se baser sur des indicateurs clés de la performance physique. Toutefois, ces indicateurs ne sont pas connus de manière spécifique pour le sport de l'escrime et chez les hommes.

Bien que quelques études aient essayé de déterminer des facteurs physiques différenciant des escrimeurs supérieurs et inférieurs ainsi que les facteurs physiques influençant l'habileté en escrime, la plus grande lacune de ces études était le fait que

les athlètes féminins et masculins étaient analysés simultanément. Pour cela, Il est difficile de bien discriminer des indicateurs clés de la performance physique de la littérature pour les hommes. C'était donc l'objectif de la présente étude.

Étant donné la nature explosive du sport, divers tests requérant une production de force extrêmement rapide ont été utilisés pour faire une évaluation complète du profil balistique des escrimeurs masculins. Des tests couramment utilisés dans la littérature, tels que SJ, CMJ et DJ, faisaient partie de la batterie évaluative. Cependant, d'autres tests spécifiques, tels que SLBJ et 505_{Mod}, ont aussi été ajoutés. De plus, des tests anthropométriques de base ont servi pour avoir une meilleure idée de la population évaluée.

Les participants de la présente étude étaient similaires à leurs homologues d'études précédentes en termes d'anthropométrie. Par rapport au profil balistique, étant donné que notre étude est la première du genre, la comparaison avec d'autres travaux en escrime masculine n'était pas possible. Toutefois, plusieurs trouvailles fortes intéressantes sont ressorties. Tout d'abord, FT:CT s'est avéré être un paramètre important pour SJ et encore plus pour DJ. Cela indique que la réactivité dans l'application de la force est un élément important en escrime. Cependant, la hauteur aux sauts SJ, CMJ et DJ n'ont aucun effet la performance en escrime. SLBJ_{ARR} est associé au classement national et les résultats des tests verticaux semblent indiquer l'importance de la direction du saut lors de l'évaluation des escrimeurs. De plus, le fait que c'est le SLBJ de la jambe arrière qui était d'importance et non celui de la jambe avant, bien que la distance moyenne aux deux était presque identique, indique le rôle distinct des deux jambes en escrime et souligne le rôle propulsif de la jambe arrière. Le test étant le meilleur prédicteur de performance en escrime semble être le 505_{Mod}. Ceci indique l'importance de l'habilité de changer rapidement de direction chez les escrimeurs.

Bien que l'escrime soit un sport à mouvements asymétriques, nos résultats n'ont pas suggéré un risque accru de blessures pour ces athlètes. Cependant, le risque de

blessure en lien avec l'asymétrie du sport reste à être étudié. Toutefois, tel que mentionné, une certaine asymétrie semble indiquer le différent rôle joué par chacune des jambes lors des déplacements. De plus, il est possible qu'une certaine asymétrie avantage l'athlète, bien que cela reste à être démontré.

En termes de pertinence, la batterie évaluative de notre étude ne présente pas un message uniforme pour le préparateur physique. En effet, les résultats des tests verticaux, du moins en termes de hauteurs de saut, semblent indiquer la non-pertinence de ces tests. Cependant, le paramètre de FT:CT issu des sauts verticaux ont démontré une importance pour l'escrime. Compte tenu du fait que SLBJ semble lié à la performance en escrime, il est possible qu'un test utilisant une propulsion davantage horizontale et pouvant être analysé en termes de FT:CT ait une pertinence accrue.

Le fait que trois tests (mesure de la taille, SLBJ et 505_{Mod}), relativement faciles à administrer et ne requérant potentiellement pas de matériel dispendieux, puissent classer les athlètes de niveau excellence et élites avec une certitude de 100 % est très pertinent, surtout pour un entraîneur n'ayant pas accès à un laboratoire de performance. Cela signifie que l'évaluation physique objective d'escrimeurs pourrait être répandue au niveau des clubs et donc qu'une évaluation globale de l'état physique des escrimeurs Québécois et Canadiens pourrait être entreprise de manière logistiquement faisable.

BIBLIOGRAPHIE

1. Wylde MJ, Tan FHY, O'Donoghue PG. A time-motion analysis of elite women's foil fencing. *Int J Perform Anal Sport*. 2013;13(2):365–76.
2. Newton RU, Kraemer WJ. Developing Explosive Muscular Power: Implications for a Mixed Methods Training Strategy. *Strength Cond J*. 1994;16(5):20–31.
3. McMaster DT, Gill N, Cronin J, McGuigan M. A Brief Review of Strength and Ballistic Assessment Methodologies in Sport. *Sports Medicine*. 2014. p. 1–21.
4. Hewitt JK, Cronin JB, Hume PA. Asymmetry in multi-directional jumping tasks. *Phys Ther Sport*. 2012;13(4):238–42.
5. Tsolakis C, Vagenas G. Anthropometric, Physiological and Performance Characteristics of Elite and Sub-elite Fencers. *J Hum Kinet*. 2010;23(1):89–95.
6. Tsolakis C, Kostaki E, Vagenas G. Anthropometric, flexibility, strength-power, and sport-specific correlates in elite fencing. *Percept Mot Skills*. 2010;110(3C):1015–28.
7. Roi GS, Bianchedi D. The Science of Fencing. *Sport Med*. 2008;38(6):465–81.
8. Aquili A, Tancredi V, Triossi T, Sanctis D De, Padua E, D'Arcangelo G, et al. Performance Analysis in Saber. *J Strength Cond Res*. 2013;27(3):624–30.
9. Roi GS, Pittaluga I. Time-motion analysis in women's sword fencing. *Proc Fourth IOC Congr Sport Sci*. 1997;
10. Turner A, James N, Dimitriou L, Greenhalgh A, Moody J, Fulcher D, et al. Determinants of Olympic Fencing Performance and Implications for Strength and Conditioning Training. *J Strength Cond Res*. 2014;28(10):3001–11.
11. Spencer M, Lawrence S, Rechichi C, Bishop D, Dawson B, Goodman C. Time-motion analysis of elite field hockey, with special reference to repeated-sprint activity. *J Sports Sci*. 2004;22(9):843–50.
12. Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C. Physiological and Metabolic Responses of Repeated-Sprint Activities. *Sport Med*. Springer International Publishing; 2005;35(12):1025–44.
13. Balsom PD, Seger JY, Sjödin B, Ekblom B. Maximal-intensity intermittent exercise: effect of recovery duration. *Int J Sports Med*. 1992;13(7):528–33.

14. Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C. Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. *Sport Med.* 2005;35(12):1025–44.
15. Ming CL, Keong CC, Ghosh AK. Time motion and notational analysis of 21 point and 15 point badminton match play. *Int J Sport Sci Eng.* 2008;2(4):216–22.
16. Beneke R, Beyer T, Jachner C, Erasmus J, Hütler M. Energetics of karate kumite. *Eur J Appl Physiol.* 2004;92(4-5):518–23.
17. Iide K, Hiroyuki I, Yoshitaka Y, Yamashita A, Miyahara K, And MN, et al. Physiological responses of simulated karate sparring matches in young men and boys. *J strength Cond Res.* 2008;22(3):839–44.
18. Milia R, Roberto S, Pinna M, Palazzolo G, Sanna I, Omeri M, et al. Physiological responses and energy expenditure during competitive fencing. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2014;39(3):324–8.
19. Cerizza C, Roi GS. Physiological aspects of sport. The basic, fundamental characteristics of the young fencer. *Sports & Youth Education.* 1994. p. 89–96.
20. Thébault N, Léger L, Passelergue P. Repeated-sprint ability and aerobic fitness. *J strength Cond Res.* 2011;25(10):2857–65.
21. Carey DG, Drake MM, Pliego GJ, Raymond RL. Do hockey players need aerobic fitness? Relation between VO₂max and fatigue during high-intensity intermittent ice skating. *J strength Cond Res.* 2007;21(3):963–6.
22. Hoffman JR. The relationship between aerobic fitness and recovery from high-intensity exercise in infantry soldiers. *Mil Med.* 1997;162(7):484–8.
23. Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH, Brooks S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol.* 1993;75(2):712–9.
24. Dawson B, Goodman C, Lawrence S, Preen D, Polglaze T, Fitzsimons M, et al. Muscle phosphocreatine repletion following single and repeated short sprint efforts. *Scand J Med Sci Sport.* 1997;7(4):206–13.
25. Krstrup P, Zebis M, Jensen J., Mohr M. Game-induced fatigue patterns in elite female soccer. *J Strength Cond Res.* 2010;24(2):437–41.
26. Krstrup P, Mohr M, Ellingsgaard H, Bangsbo J. Physical Demands during an Elite Female Soccer Game: Importance of Training Status. *Med Sci Sport Exerc.* 2005;37(7):1242–8.
27. Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci.* 2003;21(7):519–28.
28. da Silva JF, Guglielmo LGA, Bishop D. Relationship between different

- measures of aerobic fitness and repeated-sprint ability in elite soccer players. *J Strength Cond Res.* 2010;24(8):2115–21.
29. López-Segovia M, Dellal A, Chamari K, González-Badillo JJ. Importance of muscle power variables in repeated and single sprint performance in soccer players. *J Hum Kinet.* 2014;40(1):201–11.
 30. Smirniotou A, Katsikas C, Paradisis G, Argeitaki P, Zacharogiannis E, Tziortzis S. Strength-power parameters as predictors of sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness.* 2008;48(4):447–54.
 31. Cunningham DJ, West DJ, Owen NJ, Shearer DA, Finn C V., Bracken RM, et al. Strength and power predictors of sprinting performance in professional rugby players. *J Sports Med Phys Fitness.* 2013;53(2):105–11.
 32. Maulder P, Bradshaw E, Keogh J. Jump kinetic determinants of sprint acceleration performance from starting blocks in male sprinters. *J Sport Sci Med.* 2006;5(2):359–66.
 33. Habibi A, Shabani M, Rahimi E, Fatemi R, Najafi A, Analoei H, et al. Relationship between jump test results and acceleration phase of sprint performance in national and regional 100m sprinters. *J Hum Kinet.* 2010;23(1):29–35.
 34. Adrian M, Klinger A. A biomechanical analysis of the fencing lunge. *Med Sci Sports.* 1976. p. 56.
 35. Komi P V, Bosco C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sport Exerc.* 1978;10(4):261–5.
 36. Ebben WP, Petushek EJ. Using the reactive strength index modified to evaluate plyometric performance. *J Strength Cond Res.* 2010;24(8):1983–7.
 37. Munro AG, Herrington LC. Between-session reliability of four hop tests and the Agility T-test. *J Strength Cond Res.* 2011;25(5):1470–7.
 38. Ooi CH, Tan A, Ahmad A, Kwong KW, Sompong R, Ghazali KAM, et al. Physiological characteristics of elite and sub-elite badminton players. *J Sports Sci.* 2009;27(14):1591–9.
 39. Ravier G, Grappe F, Rouillon JD. Application of force-velocity cycle ergometer test and vertical jump tests in the functional assessment of karate competitor. *J Sports Med Phys Fitness.* 2004;44(4):349–55.
 40. Roschel H, Batista M, Monteiro R, Bertuzzi RC, Barroso R, Loturco I, et al. Association between neuromuscular tests and kumite performance on the Brazilian karate national team. *J Sports Sci Med.* 2009;8(CSSI3):20–4.
 41. Guilhem G, Giroux C, Couturier A, Chollet D, Rabita G. Mechanical and muscular coordination patterns during a high-level fencing assault. *Med Sci Sports Exerc.* 2014;46(2):341–50.

42. Jordan MJ, Aagaard P, Herzog W. Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction. *Scand J Med Sci Sports*. 2015;25(3):e301–9.
43. Schache AG, Crossley KM, Macindoe IG, Fahrner BB, Pandy MG. Can a clinical test of hamstring strength identify football players at risk of hamstring strain? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011;19(1):38–41.
44. Moss SL, McWhannell N, Michalsik LB, Twist C. Anthropometric and physical performance characteristics of top-elite, elite and non-elite youth female team handball players. *J Sports Sci*. 2015;1–10.
45. Bidaurrazaga-Letona I, Carvalho HM, Lekue JA, Santos-Concejero J, Figueiredo AJ, Gil SM. Longitudinal field test assessment in a basque soccer youth academy: a multilevel modeling framework to partition effects of maturation. *Int J Sports Med*. 2015;36(3):234–40.
46. Till K, Cogley S, O'Hara J, Morley D, Chapman C, Cooke C. Retrospective analysis of anthropometric and fitness characteristics associated with long-term career progression in Rugby League. *J Sci Med Sport*. 2015;18(3):310–4.
47. Gabbett T, Kelly J, Pezet T. Relationship between physical fitness and playing ability in rugby league players. *J Strength Cond Res*. 2007;21(4):1126–33.
48. Gabbett TJ, Kelly JN, Sheppard JM. Speed, change of direction speed, and reactive agility of rugby league players. *J Strength Cond Res*. 2008;22(1):174–81.
49. Maulder P, Cronin J. Horizontal and vertical jump assessment: Reliability, symmetry, discriminative and predictive ability. *Phys Ther Sport*. 2005;6(2):74–82.
50. Draper JA, Lancaster MG. The 505 test: A test for agility in the horizontal plane. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*. 1985. p. 15–8.
51. Friedrich M, Rüst CA, Rosemann T, Knechtle P, Barandun U, Lepers R, et al. A comparison of anthropometric and training characteristics between female and male half-marathoners and the relationship to race time. *Asian J Sports Med*. 2014;5(1):10–20.
52. Garrido-Chamorro R, Sirvent-Belando JE, González-Lorenzo M, Blasco-Lafarga C, Roche E. Skinfold Sum: Reference Values for Top Athletes. *Int J Morphol*. 2012;30(3):803–9.
53. Gabbett T, Kelly J, Pezet T. A comparison of fitness and skill among playing positions in sub-elite rugby league players. *J Sci Med Sport*. 2008;11(6):585–92.
54. Martín-Matillas M, Valadés D, Hernández-Hernández E, Olea-Serrano F, Sjöström M, Delgado-Fernández M, et al. Anthropometric, body composition

- and somatotype characteristics of elite female volleyball players from the highest Spanish league. *J Sports Sci.* 2014;32(2):137–48.
55. Gabbett T. A comparison of physiological and anthropometric characteristics among playing positions in junior rugby league players. *Br J Sports Med.* 2005;39(9):675–80.
 56. Peng H-T. Changes in biomechanical properties during drop jumps of incremental height. *J Strength Cond Res.* 2011;25(9):2510–8.
 57. Comyns TM, Harrison AJ, Hennessy L, Jensen RL. Identifying the optimal resistive load for complex training in male rugby players. *Sports Biomech.* 2007;6(1):59–70.
 58. Comyns TM, Harrison AJ, Hennessy LK. An investigation into the recovery process of a maximum stretch-shortening cycle fatigue protocol on drop and rebound jumps. *J Strength Cond Res.* 2011;25(8):2177–84.
 59. Healy R, Harrison AJ. The effects of a unilateral gluteal activation protocol on single leg drop jump performance. *Sport Biomech.* 2014;13(1):33–46.
 60. Wang L-I, Peng H-T. Biomechanical comparisons of single- and double-legged drop jumps with changes in drop height. *Int J Sports Med.* 2014;35(6):522–7.
 61. Ross MD, Langford B, Whelan PJ. Test-retest reliability of 4 single-leg horizontal hop tests. *J Strength Cond Res.* 2002;16(4):617–22.
 62. Pappas E, Hagins M, Sheikhzadeh A, Nordin M, Rose D. Biomechanical differences between unilateral and bilateral landings from a jump: gender differences. *Clin J Sport Med.* 2007;17(4):263–8.
 63. Lees A, Vanrenterghem J, De Clercq D. The energetics and benefit of an arm swing in submaximal and maximal vertical jump performance. *J Sports Sci.* 2006;24(1):51–7.
 64. Lees A, Vanrenterghem J, De Clercq D. Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. *J Biomech.* 2004;37(12):1929–40.
 65. Suchomel TJ, Sole CJ, Bailey CA, Grazer JL, Beckham GK. A comparison of reactive strength index-modified between six u.s. Collegiate athletic teams. *J Strength Cond Res.* 2015;29(5):1310–6.
 66. Young WB, Miller IR, Talpey SW. Physical qualities predict change-of-direction speed but not defensive agility in Australian rules football. *J Strength Cond Res.* 2015;29(1):206–12.
 67. Sheppard JM, Young WB. Agility literature review: classifications, training and testing. *J Sports Sci.* 2006;24(9):919–32.
 68. Thomeé R, Kaplan Y, Kvist J, Myklebust G, Risberg MA, Theisen D, et al.

- Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19(11):1798–805.
69. Müller U, Krüger-Franke M, Schmidt M, Rosemeyer B. Predictive parameters for return to pre-injury level of sport 6 months following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;
 70. Hewitt J, Cronin J, Hume P. Multidirectional Leg Asymmetry Assessment in Sport. *Strength Cond J.* 2012;34(1):82–6.
 71. Gabbett TJ, Jenkins DG, Abernethy B. Relative importance of physiological, anthropometric, and skill qualities to team selection in professional rugby league. *J Sports Sci.* 2011;29(13):1453–61.
 72. Gillen JB, Gibala MJ. Is high-intensity interval training a time-efficient exercise strategy to improve health and fitness? *Appl Physiol Nutr Metab.* 2014;39(3):409–12.
 73. Wernbom M, Augustsson J, Thome, É R. The Influence of Frequency, Intensity, Volume and Mode of Strength Training on Whole Muscle Cross-Sectional Area in Humans. *Sport Med.* 2007;37(3):225–64.
 74. Michalsik LB, Madsen K, Aagaard P. Technical match characteristics and influence of body anthropometry on playing performance in male elite team handball. *J Strength Cond Res.* 2015;29(2):416–28.
 75. Hetzler RK, Stickley CD, Lundquist KM, Kimura IF. Reliability and accuracy of handheld stopwatches compared with electronic timing in measuring sprint performance. *J Strength Cond Res.* LWW; 2008;22(6):1969–76.
 76. -Agar-Newman DJ, Klimstra M. Efficacy of horizontal jumping tasks as a method for talent identification of female rugby players. *J Strength Cond Res.* 2015;29(3):737–43.