

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

L'EFFET DE LA POTENTIALISATION SUR LA PERFORMANCE PHYSIQUE
CHEZ LES JOUEURS DE HOCKEY

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR

SÉBASTIEN LAGRANGE

JANVIER 2018

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.10-2015). 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.»

REMERCIEMENTS

Je tiens à commencer mon mémoire en prenant le temps de remercier convenablement les personnes de mon entourage qui m'ont influencé dans mon cheminement scolaire et qui m'ont soutenu et encouragé à poursuivre à la maîtrise.

À mes parents, je les remercie du soutien et de la patience qu'ils ont eue envers moi au cours des dernières années. Sans leur appui, ce projet n'aurait jamais pu être possible.

À mon mentor Mark Lambert, qui a su me guider dès ma première année dans mes études et dans mon travail. Sa passion à la préparation physique est en grande partie l'une des raisons pour laquelle j'ai choisi cette carrière professionnelle et pour laquelle je ne cesse de me perfectionner.

À mes frères, qui ont toujours été présents pour moi et à ma conjointe pour n'avoir jamais cessé de m'encourager lors des deux dernières années.

DÉDICACE

À ma maman, qui a œuvré pour ma réussite,
De par son amour, son soutien, pour toute son assistance
Et sa présence dans ma vie, reçoit à travers ce travail
Aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et
Éternelle gratitude.

AVANT-PROPOS

Lors de mes deux dernières années juniors au hockey, mon préparateur physique, Mark Lambert, qui est depuis les six dernières années le préparateur physique du Lightning de Tampa Bay, m'a fait découvrir l'entraînement d'avant-match. Cela consistait à me rendre au centre d'entraînement pour m'entraîner de quatre à six heures avant ma partie de hockey. L'entraînement était constitué de sauts pliométriques, d'haltérophilie et souvent de back squat avec une charge de 5 RM. L'effet de cet entraînement sur ma performance était instantané et remarquable lors de la première période de ma partie.

Par la suite, lors de mes premières années à l'université et en tant que préparateur physique, j'ai immédiatement utilisé cette méthode avec les athlètes qui possédaient le plus d'expérience en entraînement. L'un de mes premiers clients, Tyler Hylland maintenant joueur pour les Screaming Eagles du Cape Breton dans la Ligue de hockey junior majeur du Québec (LHJMQ), a lui aussi tout de suite remarqué l'effet que cet entraînement avait sur sa performance si celui-ci était exécuté quelques heures avant la partie de hockey. C'est par la suite devenu une routine pour lui avant chaque partie, tout comme cela l'était pour moi lorsque je jouais.

Bref, les résultats que j'ai obtenus personnellement lorsque j'étais joueur pour les Patriotes du Cégep de Saint-Laurent de la ligue collégiale AAA ainsi que ceux que j'obtiens présentement en tant que préparateur physique avec les athlètes en utilisant la méthode de la potentialisation par post-activation (PAP) démontrent clairement qu'elle est bénéfique. Le succès de cette méthode est la raison de ce mémoire. Il permettra de mieux comprendre ce phénomène et peut-être même de le faire connaître plus spécifiquement dans le milieu du hockey au niveau de la préparation physique.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	i
DÉDICACE.....	ii
AVANT-PROPOS.....	iii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES.....	xi
RÉSUMÉ.....	xiii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I	
PROBLÉMATIQUE.....	3
1.1 Introduction	3
1.1.1 Justification et importance de la recherche	5
1.2 Énoncé du problème.....	6
1.2.1 Pertinence pratique.....	6
1.2.2 Objectif de la recherche.....	7
1.2.3 Hypothèse de recherche.....	7
1.2.4 Variables.....	7
1.3 Limites.....	8
CHAPITRE II	
REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	9
2.1 Analyse physiologique d'une présence au hockey sur glace.....	9
2.1.1 L'habileté des joueurs de hockey à répéter des sprints.....	10
2.2 Le rôle des réflexes des circuits spinaux dans la potentialisation.....	11
2.2.1 Première théorie de la potentialisation: le réflexe H.....	12
2.2.2 La potentialisation synaptique.....	13

2.2.3	La potentialisation à long terme.....	16
2.2.4	Deuxième théorie de la potentialisation: la phosphorylation des chaînes légères de myosine.....	17
2.2.5	Le fondement cellulaire de la contraction musculaire.....	18
2.2.6	Le rôle des pompes Na^+ - K^+ dans la potentialisation.....	19
2.2.7	Type de fibres musculaires.....	22
2.3	La fatigue diffère chez la femme et l'homme.....	25
2.4	Analyse physiologique de la pliométrie.....	26
2.5	Le squat comme exercice de potentialisation par post-activation.....	27
2.6	L'entraînement et l'augmentation de la potentialisation.....	27
2.6.1	La PAP dans la prévention des blessures.....	35
2.7	Autres théories mentionnées sur la potentialisation.....	35
2.7.1	Angle de pennation des muscles.....	36
2.7.2	L'influence du rythme circadien dans la performance d'une compétition.....	36
2.7.3	Le ratio de la force relative dans l'augmentation de la PAP.....	37
2.7.4	Aide ergogène.....	37
CHAPITRE III		
MÉTHODOLOGIE.....		41
3.1	Introduction	41
3.2	Participants	41
3.2.1	Population et mode de sélection.....	41
3.2.2	Critères d'inclusion et d'exclusion	43
3.2.3	Aspects déontologiques et consentement	43
3.3	Les tests	44
3.3.1	Les mesures anthropométriques	44
3.3.2	La graisse corporelle.....	45
3.3.3	Le saut en longueur.....	46

3.3.4	Le saut en hauteur.....	47
3.3.5	Les sprints répétés sur glace (9 x 40 mètres).....	48
3.3.6	La prise du lactate	50
3.3.7	Le capteur d'oxygénation	51
3.3.8	Le "timing gate laser sensor"	51
3.3.9	La perception de l'effort	53
3.4	Procédures expérimentales	54
3.4.1	Conditions de mesure	54
3.4.2	Procédures et déroulement du projet	55
3.4.3	Déroulement des tests	56
3.5	Devis, analyses et statistiques	58
3.6	Limites du projet	58
CHAPITRE IV		
ANALYSE DES RÉSULTATS		60
4.1	Résultats.....	60
4.1.1	Mesures anthropométriques.....	60
4.1.2	Caractéristiques des sauts des participants.....	61
4.1.3	Caractéristiques des sprints répétés des participants pré et post intervention.....	63
4.1.4	Caractéristiques physiologiques des participants pré et post intervention	67
4.1.5	Résultats des corrélations entre le groupe expérimental et témoin...	68
CHAPITRE V		
DISCUSSION		69
5.1	Les mesures anthropométriques sur la performance.....	69
5.2	L'entraînement de style contraste sur la performance	70
5.3	Effets du PAP sur les sauts.....	72
CONCLUSION.....		74

APPENDICE A	
CONSENTEMENT.....	75
APPENDICE B	
APPROBATION DU COMITÉ DE DÉONTOLOGIE.....	87
APPENDICE C	
QUESTIONNAIRE PERCEPTION DE L'EFFORT.....	89
APPENDICE D	
ENTRAÎNEMENT CONTRASTE.....	90
APPENDICE E	
ACTIVATION PRÉ-ENTRAÎNEMENT ET PRÉ-TEST (10 MIN).....	91
APPENDICE F	
GRILLE DE COLLECTE DE DONNÉES.....	92
APPENDICE G	
DONNÉES RECUEILLIES DURANT L'ENTRAÎNEMENT 6 HEURES AVANT LES TESTS PHYSIQUES DES GROUPES EXPÉRIMENTAUX	94
APPENDICE H	
FORMULES	95
BIBLIOGRAPHIE.....	96

LISTE DES FIGURES

Figures	Page
1.1 Courbe Force-Vitesse	3
2.1 Contributions des systèmes énergétiques avec la durée du temps des sprints	11
2.2 Modèle de la relation entre la performance explosive, la PAP et la fatigue suite à une activité de post-activation	14
2.3 Les causes possibles de la fatigue d'origine périphérique et centrale	15
2.4 Pompes Na ⁺ -K ⁺	20
2.5 Facteurs expliquant la stimulation de la pompe Na ⁺ -K ⁺ / Facteurs pouvant modifier la dégradation et la synthèse de la pompe Na ⁺ -K ⁺	21
2.6 Caractéristiques morphologiques des différents types de fibres musculaires chez l'homme	24
3.1 Instruments pour mesures anthropométriques.....	45
3.2 Plis cutanés - Poliquin® BioSignature Modulation.....	46
3.3 Saut en longueur	47
3.4 Saut en hauteur – tapis de Bosco	48
3.5 30-15 Intermittent Ice Test	49
3.6 Analyseur de lactate.....	50
3.7 Moniteur de saturation d'oxygène	51
3.8 Appareils de mesure de temps	52
3.9 Échelle de Borg.....	53

Figures	Page
3.10 Début du mouvement Inertia back squat.....	55
3.11 Fin du mouvement Inertia back squat	55
4.1 Résultats du saut en longueur des participants pré et post intervention.....	62
4.2 Résultats du saut vertical des participants pré et post intervention.....	62
4.3 Temps total des neuf sprints répétés sur glace chez les participants pré et post intervention.....	65
4.4 Vitesse moyenne des neuf sprints répétés sur glace chez les participants pré intervention.....	66
4.5 Vitesse moyenne des neuf sprints répétés sur glace chez les participants post intervention.....	66

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Page
2.1 Ouvrages traitant sur le temps de récupération suite à un back squat pour optimiser la performance des sauts.....	31
2.2 1 ^{ère} partie - Sommaire des études sur la potentialisation par post-activation.....	33
2.3 2 ^{ème} partie - Sommaire des études fait sur la potentialisation par post-activation	34
4.1 Caractéristiques anthropométriques des participants.....	61
4.2 Résultats du saut en longueur et saut vertical combinés pré et post intervention.....	61
4.3 Résultats du test sur glace 9 x 40 mètres chez les participants pré et post intervention.....	64
4.4 Résultats des données physiologiques du test sur glace 9 x 40 mètres chez les participants.....	67

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

Ach	Acétylcholine
ANOVA	Analysis of variance
ATP	Adénosine triphosphate
ATPase	Enzymes adénosinetriphosphatase
ATP-Pcr	Adénosine triphosphate - phosphocréatine
Back squat	Flexion sur jambes
Ca / Ca ⁺ / Ca ²⁺	Calcium
CAMKII	Protéines kinases Ca ²⁺ /calnoduline dépendantes
CER	Cycle étirement raccourcissement
CDKIN	Comité de déontologie du département de kinanthropologie
CIÉR	Comité institutionnel d'éthique de la recherche
Cl ⁻	Chlore
CMJ	Countermovement jump – saut vertical
EMG	Électromyogramme
É.T.	Écart-type
GABA	Acide γ – aminobotyrique
H ⁺	Hydrogène
K ⁺	Potassium
LHJMQ	Ligue de hockey junior majeur du Québec

Mg ⁺ / Mg ²⁺	Magnésium
MHC	Chaîne lourde myosine
MLC	Chaîne légère myosine
MLC2	Chaîne légère myosine (2)
Moy	Moyenne
Na ⁺	Sodium
NCAA	National Collegiate Athletic Association
NMDA	Acide N-méthyl-D-aspartique
NOS	Oxyde nitrique synthase
PAP	Potentialisation post-activation
PKC	Protéine kinase C
PLT	Potentialisation à long terme
PPT	Potentialisation post-tétanique
RM	Répétition maximale
RSS	Repeat Sprint Skate
RT3	Résistance training 3
SCPE	Société canadienne de physiologie de l'exercice
SERCA	Pompe à calcium (Ca ²⁺ -Atpase) du réticulum sarcoplasmique et endoplasmique
SMAT	Skating multistage aerobic test
UQAM	Université du Québec à Montréal

RÉSUMÉ

L'objectif principal était de déterminer les effets que pourrait apporter un entraînement contraste (PAP) avant la compétition sur la performance de l'athlète. En second lieu, cette étude a vérifié l'influence du temps écoulé entre l'entraînement et la compétition sur la performance des patineurs.

Méthodes: Quarante et un joueurs de hockey sur glace ont participé à cette étude, dont vingt et un dans le groupe d'entraînement en résistance 6 heures avant la compétition (RT3) et le reste en tant que groupe témoin (C). La séance d'entraînement a consisté en un Inertia "back squat" (5RM) pour 5 séries en utilisant un tempo de 4-2-X-1, avec un saut de pliométrie (squat jump) en alternance et un repos de 3 minutes entre les séries. Quant aux effets de la potentialisation post-activation (PAP), ils ont été déterminés par un test maximal, soit 9 sprints répétés sur glace avec l'utilisation d'un capteur pour l'oxygénation musculaire et une prise de lactate. Les sprints d'une distance de 40 mètres sur glace, dans des conditions spécifiques à une présence d'un joueur de hockey, ont été chronométrés à l'aide des "timing gates" et prises en vidéo à l'aide d'une caméra numérique. Le saut vertical, qui a été évalué lors d'un saut à contre-mouvement (countermovement jump – CMJ) à l'aide d'un tapis de Bosco, et le saut en longueur ont été mesurés pour démontrer si cet entraînement serait bénéfique ou non avant une compétition.

Résultats : Il a été démontré dans cette recherche qu'il n'y avait pas d'impact significatif sur les résultats des sauts en hauteur ($p=,270$) et des sauts en longueur ($p=,101$). D'autre part, il a été démontré que l'entraînement en résistance fait 6 heures avant la compétition, augmente significativement la vitesse d'exécution des sprints sur glace ($p=,003$).

Conclusion : Ce projet de recherche parvient à démontrer chez les joueurs de hockey ayant accompli un entraînement contraste six heures avant une épreuve de patinage sur glace, une amélioration de leurs performances sur le temps total (s) d'exécution des sprints et sur leur vitesse moyenne (m/s) des neuf sprints répétés.

MOTS-CLÉS : potentialisation post-activation, potentialisation synaptique, entraînement contraste, pliométrie, réflexe H, phosphorylation des chaînes légères de myosine

INTRODUCTION

Le hockey sur glace est l'un des sports les plus complets et les plus complexes sur le plan physique et physiologique. Les athlètes de ce sport sont toujours à la recherche d'une technique d'entraînement qui pourrait influencer grandement leur performance. Bien que la réussite du hockey dépende grandement de la tactique du jeu et de la maîtrise des habiletés techniques comme le coup de patin, le maniement du bâton et de la rondelle, il reste qu'un joueur qui arrive à démontrer force, endurance et vitesse améliorera considérablement ses chances de succès. La vitesse apparaît certainement comme la qualité qui permet à un joueur de se démarquer des autres. Les préparateurs physiques doivent donc insister sur des déterminants physiologiques et utiliser des méthodes d'entraînement adaptées aux besoins des joueurs. Or, l'entraînement contraste, qui consiste à utiliser des charges lourdes avant un exercice d'explosion et de puissance tel que la pliométrie, pourrait augmenter la potentialisation par post-activation (Lesinski *et al.*, 2014). L'explication de Robbins (2005) étant que la force du muscle ciblé par l'exercice demandé serait augmentée dû à sa dernière contraction musculaire, puisqu'une meilleure contractilité du muscle est possible (Robbins, 2005). Nous nous interrogerons grandement pour mieux comprendre ce phénomène. En quoi consiste-t-il? Quels sont les facteurs qui causent la potentialisation? Comment peut-on appliquer les recherches scientifiques et les mettre en pratique? Nous avons tenté d'identifier et de trouver des réponses à ces questions de manière à pouvoir bien comprendre et expliquer clairement ce phénomène afin que les sportifs puissent en bénéficier avant une compétition. Ces interrogations sont présentées à travers la problématique, soit l'explication de la mise en contexte et ainsi de la pertinence pratique. Par la suite, nous évaluerons la question de recherche qui nous intéresse dans le cadre de ce projet. Subséquemment, un cadre théorique et une recension des écrits scientifiques centrés sur notre sujet composent le cadre conceptuel et nous permettront de mettre en lien nos objectifs spécifiques. Puis, en ce

qui concerne la méthodologie, nous présenterons entre autres le déroulement et l'exécution des tests physiques de ce projet afin d'analyser et de comparer nos résultats à l'aide d'une discussion en lien avec la littérature scientifique. Enfin, nous terminerons par une conclusion où nous relèverons les limites et les forces de cette recherche.

CHAPITRE I

PROBLÉMATIQUE

1.1 Introduction

En tant que préparateur physique, l'augmentation de la performance physique chez un athlète est notre mandat prioritaire. De nos jours, plusieurs méthodes d'entraînements existent pour augmenter la force et la puissance chez les sportifs. L'une des stratégies les plus utilisées est l'entraînement en résistance avec un poids relativement lourd (80-90% du 1 RM) puisqu'il a été démontré qu'il augmenterait la puissance et la force d'un athlète comparativement à un entraînement avec des charges légères (Schmidtbleicher et Haralambie, 1981). D'autre part, il a été démontré qu'une autre méthode très populaire, soit la pliométrie, peut augmenter la puissance musculaire et la force déployée comparativement à l'entraînement en résistance et pourrait augmenter la performance athlétique dans les mouvements dynamiques tels que les sauts et les sprints (Fernandez-Fernandez *et al.*, 2015; Verkhoshansky *et al.*, 2009). La pliométrie permet de diminuer l'écart entre la force entraînée et la puissance déployée d'un athlète selon la courbe force-vitesse (Markovic, 2007).

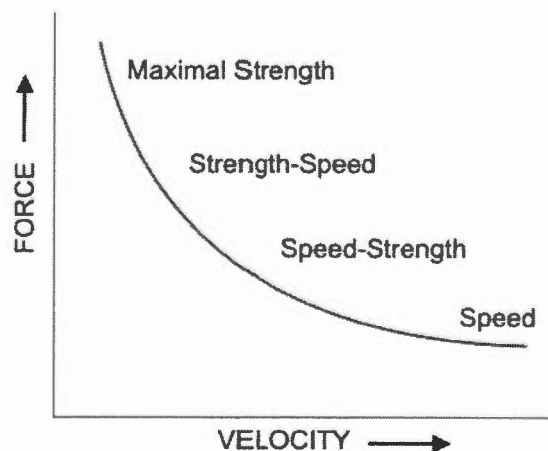


Figure 1.1 Courbe Force-Vitesse (Billaut et Bishop, 2009)

Récemment la méthode de potentialisation par post-activation (PAP), ou en d'autres mots la pré-sollicitation musculaire a fait surface comme l'un des moyens d'augmenter la puissance développée par un athlète très rapidement. Définie par Robbins en 2005, cette méthode amènerait une stimulation très élevée du système nerveux, qui se solde en une amélioration du recrutement des unités motrices et de la force musculaire qui pourrait durer de 5 à 30 minutes (Chiu *et al.*, 2003). À l'opposé, (Kilduff *et al.*, 2013) a démontré qu'un entraînement en résistance effectué le matin d'une compétition, soit six heures avant celui-ci, amènerait des bienfaits positifs durant plusieurs heures. De plus, la PAP ne peut être obtenue que par une contraction volontaire maximale, par exemple, à l'aide d'un back squat de 1-5 RM (Mitchell et Sale, 2011) ou par des sauts pliométriques. La PAP peut être en périphérie dans les muscles tout comme central au niveau neural (Behm *et al.*, 2004; Szczesna *et al.*, 2002). Il a été soulevé par certains auteurs que lorsqu'un exercice est exécuté avec une charge lourde, soit au-dessus de 80 % du 1RM cela engendre une potentialisation 6 à 7 heures plus tard et ces effets pourraient durer jusqu'à 24 heures (Bompa et Buzzichelli, 2015).

D'autre part, de plus en plus de recherches sont dirigées sur l'entraînement contraste. Cette méthode implique un exercice de force maximale avec un exercice d'explosion et de puissance ; et la combinaison serait plus efficace pour augmenter la PAP (Maio Alves *et al.*, 2010). Cette combinaison d'un back squat avec un exercice pliométrique serait la plus avantageuse afin d'obtenir des résultats rapides et optimaux sur la PAP (Comyns *et al.*, 2010).

Ce phénomène de la potentialisation semble affecter favorablement les performances dans les compétitions et les pratiques. Alors, imaginez si cet entraînement pouvait augmenter directement nos performances de 2 à 4 %? Quels sont les bienfaits de cet entraînement à long terme? Une recherche (Smith *et al.*, 2001) a même démontré que l'effet de la potentialisation par post-activation pourrait avoir des bienfaits lors

d'exercices où le stimulus de pré-compétition n'imitait pas son mouvement au niveau biomécanique. Pour être plus spécifique, on a constaté que les sujets exécutant un sprint de 10 s sur vélo après avoir effectué un back squat avaient augmenté leur puissance développée et leur puissance moyenne comparativement au groupe témoin n'ayant pas effectué le protocole des 10 séries de 1 répétition à 90 % de leur 1RM 5 minutes avant le test. Bref, plusieurs études démontrent qu'un entraînement contraste pour manipuler la PAP peut améliorer les performances sportives en augmentant la force et la vitesse (Hodgson *et al.*, 2005). Toutefois, la durée des effets de cette méthode est courte et elle est souvent utilisée uniquement lors des réchauffements avant une compétition (Smith, Chad E *et al.*, 2014). Par conséquent, l'objectif de ce projet est d'évaluer les effets d'un entraînement de style contraste pour augmenter la potentialisation par post-activation et de déterminer la durée des effets positifs si l'entraînement est exécuté six heures avant une compétition.

1.1.1 Justification et importance de la recherche

Plusieurs raisons incitent l'approfondissement des connaissances sur l'effet de la potentialisation sur la performance physique des athlètes. Étant préparateur physique avec des équipes au niveau de la LHJMQ et Midget AAA, mon rôle durant la saison est de prévenir les blessures et de maintenir leur masse musculaire, mais primordialement d'appliquer des méthodes d'entraînements afin d'améliorer leur performance au cours de la saison. En fait, une périodisation et une application inadéquate au niveau du choix de l'exercice, soit le nombre de répétitions, le temps de repos et le nombre de séries, peuvent diminuer grandement leur rendement lors des parties. Une recherche dans la littérature scientifique concernant la PAP permettra de mieux maîtriser les variables et de m'assurer d'un accroissement de leur performance. Pour compléter, il est possible que les résultats obtenus lors de cette expérimentation démontrent qu'un entraînement augmentant la PAP, tel que l'entraînement contraste, augmente la performance si l'entraînement est effectué six heures avant la

compétition. Par la suite, les préparateurs physiques pourraient utiliser ces conclusions pour amener ce type d'entraînement afin d'augmenter la performance de leurs athlètes avant une partie ou un événement de haute importance. De plus, les données de la présente étude pourraient amener des connaissances plus approfondies sur l'utilisation de la potentialisation chez les joueurs de hockey.

1.2 Énoncé du problème

1.2.1 Pertinence pratique

Dans les dernières années, la condition physique des joueurs de hockey ne cesse de s'améliorer (Montgomery, 2006; Quinney *et al.*, 2008). La périodisation annuelle et l'utilisation des méthodes d'entraînement doivent être justes et bien ancrées dans le calendrier par les préparateurs physiques pour permettre aux joueurs d'optimiser leurs performances. Or, la potentialisation par post-activation est une méthode d'entraînement qui nous permet d'optimiser la puissance musculaire déployée qui est fondamentale dans la performance de tous les sports (Mola *et al.*, 2014). Ses bienfaits ont été démontrés plusieurs fois au niveau de gain de force, de la puissance et de l'accélération chez les athlètes (Hodgson *et al.*, 2005; Robbins, 2005). Néanmoins, la majorité des études se base sur un sprint entre 20 et 40 mètres pour déterminer l'efficacité de la PAP (Chatzopoulos *et al.*, 2007). Bien que le hockey soit un sport intermittent à haute intensité et un enchaînement de contractions explosives, il exige une bonne condition anaérobie du joueur pour lui permettre de répéter ses présences sur la glace (MacDougall *et al.*, 1977). De ce fait, il est donc important de valider l'inclusion d'un programme d'entraînement contraste quelques heures avant la compétition ayant comme but d'augmenter la PAP et son effet sur un parcours correspondant à une présence sur la glace.

1.2.2 Objectif de la recherche

La présente étude a évalué l'impact d'un entraînement de style contraste, augmentant la potentialisation par post-activation, effectuée six heures avant la compétition et l'effet que celui-ci aura sur les tests physiques d'explosion et sous-maximal qui représentent une présence sur glace.

1.2.3 Hypothèse de recherche

H_1 : L'augmentation de la potentialisation six heures avant les tests physiques améliorera la performance maximale et sous-maximale.

H_0 : L'entraînement six heures avant les tests physiques n'aura aucun effet sur les résultats.

Hypothèse additionnelle : Les années d'expérience d'entraînement en musculation ont un lien direct sur les résultats obtenus.

1.2.4 Variables

Dans le cas de ce projet, les variables dépendantes étaient le saut vertical, les sprints sur glace répétés sur 40 m et le saut en longueur. La variable indépendante était l'application de l'entraînement contraste pouvant augmenter la PAP chez les sujets de ce projet.

1.3 Limites

Des limites doivent être imposées afin de rendre ce projet réalisable. La première limite est l'homogénéité des groupes. En fait, il est impératif que le groupe témoin et le groupe expérimental soient similaires au point de départ de l'expérimentation. Pour ce faire, nous avons fourni des questionnaires et effectué quelques tests pour déterminer leur niveau d'aptitude physique, leur maturité et leur adaptation afin qu'ils soient en mesure de participer au projet. Pour ce projet, il y aura plusieurs groupes: 2 groupes expérimentaux de niveau LHJMQ et Midget AAA et 2 groupes témoins séparés de la même façon que les groupes expérimentaux. Plusieurs raisons nous ont poussés à opter pour des joueurs de hockey élite âgés de 15 à 21 ans. L'une d'elles est le fait que l'entraînement contraste implique des exercices pliométriques qui sont exigeants puisqu'il requiert une adaptation physiologique. Puisque ces joueurs ont été entraînés par notre organisation durant l'année, nous connaissons leur bagage d'entraînement et réduisons ainsi les chances d'engendrer des variations dans les résultats. De plus, les facteurs liés à l'intervention du protocole ont été respectés, tels que les intervalles de temps entre l'entraînement et la compétition et les tests qui ont été effectués six heures plus tard. Il faudra aussi s'assurer que la durée des entraînements, du réchauffement, du nombre de répétitions et du temps de repos entre les séries soient fixes tout au long du projet.

CHAPITRE II

REVUE DE LA LITTÉRATURE

Dans cette section, nous aborderons des thèmes spécifiques à mon objectif de recherche, soit l'analyse physiologique d'une présence de hockey sur glace, l'importance des sprints répétés sur glace, la potentialisation, les méthodes d'entraînement pour augmenter la PAP et les aides ergogènes pouvant aider ou nuire à la potentialisation.

2.1 Analyse physiologique d'une présence au hockey sur glace

La condition physique est un aspect primordial au hockey sur glace puisque le joueur doit reproduire plusieurs fois des mouvements à haute intensité. Ce sport demande à l'athlète d'effectuer des présences soutenues et intenses à répétition qui durent entre 30 et 80 secondes avec un temps de repos au banc de deux à quatre minutes. De plus, un joueur typique jouera en moyenne 15 à 20 minutes durant une partie de 60 minutes (Montgomery, 1988). Par la suite, un joueur dominant se démarquera par son habileté à répéter des sprints à haute intensité (Cox, M. H. *et al.*, 1995). La haute consommation d'oxygène (32-34 ml O₂/Kg/min) lors d'une situation de jeu est un indicateur de l'intensité de ce sport (Leger *et al.*, 1979). Les battements de cœur d'un joueur se retrouvent entre 80 % et 85 % de leur maximum lors d'une présence sur la glace (Stanula et Roczniok, 2014). De plus, la position du joueur influencera grandement les filières énergétiques utilisées. Selon Cox (Cox, M. *et al.*, 1995), un défenseur joue en moyenne 38 % de la partie, tandis qu'un attaquant jouera moins de 35 % de celle-ci. Le ratio de travail 1:3,5 versus 1:8 amènera le joueur dans

différentes portions du système anaérobie (lactique et alactique) et aérobie. Pour ce sport, la demande métabolique du système ATP-phosphocréatine sera responsable de 69 % de la performance, tandis que le système oxydatif sera responsable du restant, soit 31 % pour être capable de subvenir à la demande énergétique du hockey sur glace (Green *et al.*, 1976). Le système aérobie est principalement responsable de la récupération entre les présences sur la glace lorsqu'il y a une diminution de la contribution des mécanismes anaérobies et permettra au joueur d'optimiser l'utilisation de l'oxygène au lieu d'aller puiser dans les substrats d'énergie tels que ATP-Pcr et le glycogène pour la production d'énergie (Eric MacLean, 2014). Bref, un joueur bien entraîné devrait disposer d'une bonne puissance et d'une capacité anaérobie rapide entre les efforts, ainsi que d'une capacité aérobie pouvant lui permettre de bien récupérer entre les présences et les parties (Burr *et al.*, 2008).

2.1.1 L'habileté des joueurs de hockey à répéter des sprints

Comme mentionné précédemment, le hockey sur glace est un sport impliquant des situations de contacts physiques fréquents avec l'adversaire, de la rapidité, de la force et de l'endurance (Burr *et al.*, 2008). Ce sport se caractérise avec des départs rapides, des accélérations, des arrêts brusques, des changements de direction, des mises en échec et plusieurs autres manœuvres (Montgomery, 2006). Pour pouvoir performer dans ce sport, l'athlète doit être en mesure de répéter des sprints sur glace. Cette aptitude à sprinter, récupérer et sprinter à nouveau est l'un des facteurs déterminants de la performance au hockey sur glace (Bishop *et al.*, 2003). L'habileté à reproduire des sprints découle principalement du système anaérobie et de l'efficacité du système ATP-Pcr ainsi que de la faculté à tamponner les ions (H^+) afin de maintenir la force maximale de chaque poussée lorsque ces sprints sont exécutés à haute intensité (Hollooszy et Coyle, 1984). D'autre part, dans la revue de la littérature, plusieurs recherches démontrent que la capacité aérobie n'est pas un facteur significatif dans les résultats lors de tests de sprints répétés à haute intensité (Stanula *et al.*, 2014).

Pourtant, plusieurs évoquaient l'importance de ce système dans la récupération entre les sprints grâce à la corrélation significative de la densité capillaire qui permet d'améliorer l'utilisation et la circulation de la concentration de lactate dans le sang (Tesch et Wright, 1983; Thebault *et al.*, 2011). Par contre, le préparateur physique ne devrait pas planifier des séances aérobies puisque la récupération entre les sprints à haute intensité n'est pas en lien avec la capacité aérobie (Carey *et al.*, 2007). Par ailleurs, la figure de Billaut et Bishop démontrent que les intervalles à haute intensité, tels que ceux pratiqués au hockey, améliorent la capacité aérobie et le VO₂ max.

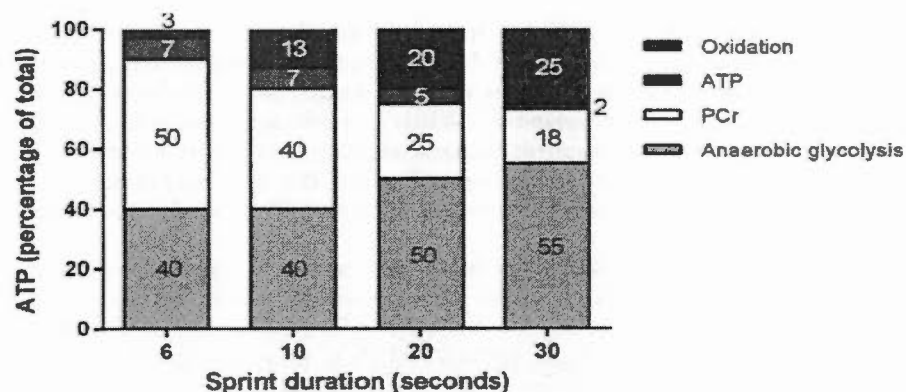


Figure 2.1 Contributions des systèmes énergétiques avec la durée du temps des sprints (Billaut et Bishop, 2009).

2.2 Le rôle des réflexes des circuits spinaux dans la potentialisation

Pour approfondir ce point, il est important de comprendre le rôle et le cheminement d'un motoneurone alpha (α). Ce type de motoneurone innervent les fibres musculaires striées pour produire la force nécessaire au mouvement (Purves et Coquery, 2005). Partant de la moelle épinière en voyageant dans l'axone jusqu'aux muscles, le motoneurone, selon sa taille, innervera des unités motrices différentes. Les unités motrices rapides et fatigables de grande taille sont celles qui nous intéressent puisque

leur seuil d'activation est plus élevé que les unités motrices lentes (Purves et Coquery, 2005).

La fréquence de décharge des motoneurones contribue à l'augmentation de la force suite aux contractions des fibres musculaires sous l'effet d'un nouveau potentiel d'action (Purves et Coquery, 2005). En ce qui concerne cette théorie, il est difficile d'ignorer les circuits spinaux des réflexes d'étirements. Ces circuits synaptiques de la moelle interviennent dans de nombreux réflexes sensorimoteurs. Il est important d'évoquer que tous les réflexes d'étirements auront un effet sur la propagation du potentiel d'action. Pour ce qui est du réflexe H, il est obtenu grâce à une stimulation électrique qui remplace le traditionnel marteau à réflexes (Palmieri *et al.*, 2004). Cette activation directe déclenche un réflexe myotatique qui émettra une réponse tardive (réflexe H) et de courte latence (réflexe myotatique) (Palmieri *et al.*, 2004).

La réponse H prendra forme grâce à l'activation des fibres afférentes à l'instant où le début de l'influx nerveux débutera en prenant la direction des fibres motrices α (Purves et Coquery, 2005). Ensuite, lors d'activation de plus haute intensité, la réponse M (réflexe myotatique) surviendra à l'issue de l'activation directe de ces fibres motrices (Palmieri *et al.*, 2004).

2.2.1 Première théorie de la potentialisation: le réflexe H

L'un des principes physiologiques entourant ce phénomène serait l'excitation du système nerveux qui augmenterait la fonction de la contractilité due à une contraction maximale volontaire d'une charge lourde qui serait le stimulus (Rixon *et al.*, 2007). L'augmentation du recrutement d'unité motrice et de la force ne serait que temporaire, soit de cinq à trente minutes (Rixon *et al.*, 2007). Le réflexe H, nommé après le scientifique Paul Hoffmann, qui a été le premier à le décrire en 1910, est l'une des théories qui revient souvent dans la littérature pour expliquer la

potentialisation par post-activation. Ce réflexe qui survient lors des contractions musculaires pourrait augmenter le potentiel d'excitation dans la moelle épinière aboutissant en un recrutement élevé d'unités motrices (Palmieri *et al.*, 2004). Cette excitation pourrait augmenter la rapidité et l'efficacité à laquelle les impulsions des potentiels post-synaptiques des nerfs se rendent aux muscles et augmenterait la force produite (Hodgson *et al.*, 2005). La durée de la potentialisation basée sur les mesures du réflexe H est d'environ 15 minutes (Chatzopoulos *et al.*, 2007).

2.2.2 La potentialisation synaptique

Un autre mécanisme en lien avec la dernière hypothèse qui pourrait expliquer la durée de la PAP est la plasticité synaptique. L'activation répétée de la jonction neuromusculaire est la raison de cette plasticité. La facilitation synaptique qui est décrite comme une augmentation de la transmission de la force synaptique se produit lorsque plusieurs potentiels d'action, en successions rapides, entrent dans les terminaisons présynaptiques (Ganong et Jobin, 2005). Cette étape fait en sorte que le potentiel d'action libère plus de neurotransmetteurs et, de ce fait, en résultera une augmentation prolongée des niveaux de calcium présynaptique (Katz et Miledi, 1968). De plus, une stimulation à haute fréquence (tétanisation) augmenterait encore plus la libération de ces neurotransmetteurs, ce qui fera en sorte que les niveaux de Ca^+ seront plus élevés et qui provoquera une autre forme de facilitation appelée potentialisation post-tétanique (PPT) (Ganong et Jobin, 2005). Celle-ci, comparativement à la facilitation synaptique, peut durer plusieurs minutes et serait causée par le processus dépendant du calcium qui met en jeu l'activation des protéines kinases (CAMKII) et qui augmenterait la capacité des ions de calcium (Fioravante *et al.*, 2011). Il est important de différencier les deux mécanismes l'un de l'autre. La PAP est obtenue à la suite d'une contraction volontaire alors que la PPT résulte d'une contraction involontaire (stimulation neuromusculaire) (Tillin et

Bishop, 2009). La potentialisation tétanique est plutôt utilisée dans les programmes de réadaptation.

Bref, la facilitation et la potentialisation post-tétanique peuvent modifier la transmission synaptique et c'est dans ce sens qu'elles pourraient affecter notre PAP. La facilitation ou l'inhibition de ces réflexes au niveau neural agit grandement sur le système nerveux et peut être modifié pour optimiser le développement de la force musculaire dans l'entraînement par l'amélioration de la coordination intra et inter musculaire (Verkhoshansky *et al.*, 2009).

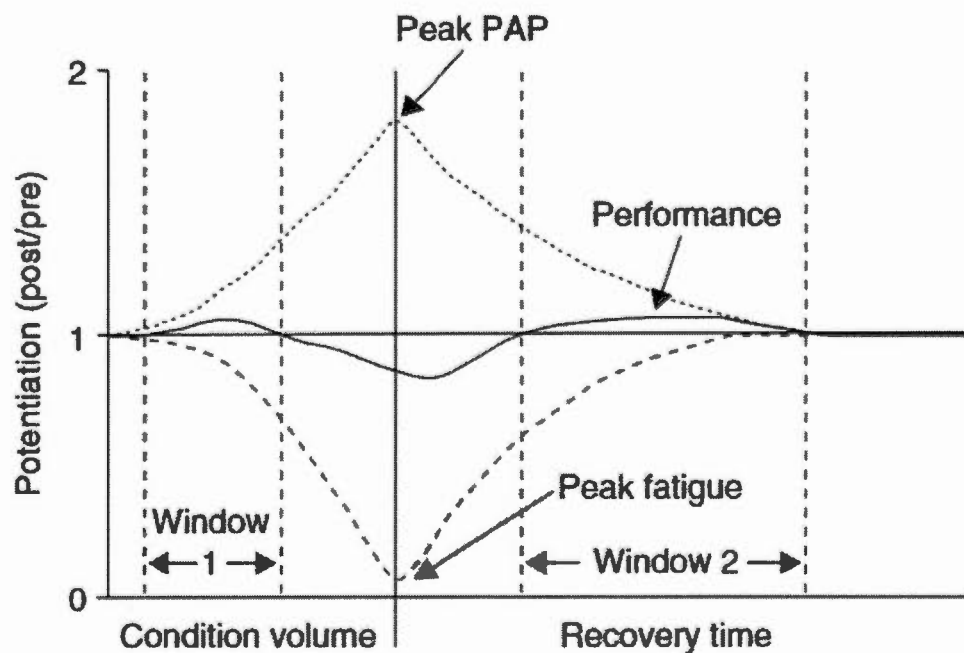


Figure 2.2 Modèle de la relation entre la performance explosive, la PAP et la fatigue suite à une activité de post-activation (Tillin et Bishop, 2009)
(suite à la pré-sollicitation avec le volume adéquat, une fenêtre s'ouvre pour nous permettre de bénéficier des effets de la PAP. Par contre, un volume trop élevé mène à une apparition de la fatigue et diminue la performance)

Dans le but d'optimiser la performance lors d'une activité de potentialisation par post-activation (figure 2.2), la fatigue doit disparaître à un rythme plus rapide que les effets potentialisateurs de la PAP (Docherty et Hodgson, 2007). Les causes de la fatigue peuvent être nombreuses et seront expliquées dans la section des pompes Na⁺K⁺. Cependant, voici une figure expliquant les possibles raisons de la fatigue d'origine périphérique et de la fatigue centrale.

-
- I Peripheral fatigue**
- A Exercise-related changes in the internal environment**
- 1 Accumulation of lactate and H⁺. H⁺ is partly buffered, increasing carbon dioxide production from bicarbonate.
 - 2 Accumulation of heat, leading to increased sweat secretion. The loss of water may lead to dehydration.
- B Exercise-related changes within muscle fibres**
- 1 Accumulation of P_i in the sarcoplasm, decreasing contractile force due to cross-bridge inhibition.
 - 2 Accumulation of H⁺ in the sarcoplasm, decreasing contractile force due to cross-bridge inhibition. Accumulation of H⁺ may also depress Ca²⁺ re-uptake in the sarcoplasmic reticulum.
 - 3 Accumulation of sarcoplasmic Mg²⁺. Mg²⁺ counteracts Ca²⁺ release from the sarcoplasmic reticulum.
 - 4 Inhibition of Ca²⁺ release from the sarcoplasmic reticulum by accumulation of P_i (see point 1). Ca²⁺ release is inhibited by precipitation of calcium phosphate in the sarcoplasmic reticulum and phosphorylation of Ca²⁺ release channels.
 - 5 Decline of glycogen stores and (in extreme cases) decline of blood glucose levels.
 - 6 Decreased conduction velocity of action potentials along the sarcolemma, probably as a result of biochemical changes in and around the muscle fibres. This has no known immediate effect on muscle force production.
 - 7 Increased efflux of K⁺ from muscle. Increased K⁺ in the lumen of the t-tubuli may block the tubular action potential and lessen force due to a depression of excitation-contraction coupling.
- II Central fatigue**
- 1 The conduction of axonal action potentials may become blocked at axonal branching sites, leading to a loss of muscle fibre activation.
 - 2 Motor neuronal drive may be influenced by reflex effects from muscle afferents.
 - 3 Stimulation of type III and IV nerves decreasing motor neuron firing rate and inhibiting motor cortex output.
 - 4 The excitability of cells within the cerebral motor cortex may change during the course of maintained motor tasks, as suggested by measurements using transcranial magnetic stimulation.
 - 5 Synaptic effects of serotonergic neurons may become enhanced, causing increased tiredness and fatigue. This may occur from increased brain influx of the serotonin precursor tryptophan, via exercise-induced decreases in the blood concentration of BCAAs.
 - 6 Exercise-induced release of cytokines; IL-6 induces sensations of fatigue and IL-1 induces sickness behaviour.
- BCAAs = branched-chain amino acids; Ca²⁺ = calcium; H⁺ = hydrogen;
 IL = interleukin; K⁺ = potassium; Mg²⁺ = magnesium; P_i = inorganic phosphate.
-

Figure 2.3 Les causes possibles de la fatigue d'origine périphérique et centrale (MacIntosh *et al.*, 2012).

2.2.3 La potentialisation à long terme

Un autre facteur pouvant expliquer nos futurs résultats serait la potentialisation à long terme (PLT), une activité synaptique du système nerveux pouvant provoquer un accroissement durable des forces synaptiques qui pourrait durer plusieurs heures ou même plusieurs jours (Ataei *et al.*, 2015). Plusieurs travaux depuis les années 1960 portent sur la PLT et sur les synapses de l'hippocampe (collatérales de Shaffer) avec des stimulations à haute intensité et produisent une potentialisation durable de la force de transmission synaptique (Malinow *et al.*, 1989). La stimulation à haute fréquence entraîne une dépolarisation prolongée ayant comme conséquence une expulsion du Mg^{+} . Cette expulsion permettra au Ca^{+} d'entrer dans le neurone postsynaptique (Ganong et Jobin, 2005). Cette augmentation de calcium est la plus grande cause de la PLT. Plusieurs observations récentes indiquent que la PLT est due à l'entrée d'ions de calcium qui augmenterait la sensibilité au glutamate (Ma *et al.*, 2015), alors que l'augmentation du calcium potentialise la transmission synaptique. Il est important de mentionner que l'activation des protéines kinases (CAMKII), calmoduline dépendante et C (PKC), sont impliquées dans ce processus d'induction de la PLT (Ataei *et al.*, 2015). Bref, l'activation des récepteurs de glutamate (NMDA), l'entrée de calcium dans la cellule et l'activation sélective des protéines phosphatases et kinases par les taux de calcium ont des rôles importants dans la potentialisation à long terme. Il est important de noter que ces messagers intracellulaires qui participent à la potentialisation sont très complexes, mais nous ne devons pas les oublier. La PLT peut produire des modifications de la force synaptique capable de durer plusieurs heures, cette plasticité du système nerveux pourrait être un des grands facteurs de réponse dans nos résultats obtenus.

2.2.4 Deuxième théorie de la potentialisation: la phosphorylation des chaînes légères de myosine

Par ailleurs, la deuxième théorie retrouvée dans la littérature scientifique est la phosphorylation des chaînes légères de myosine (MLC2) qui aurait un rôle de modulation dans l'activation par le calcium (Geeves et Holmes, 1999; Kajiya, 1992). Grâce à la technologie, plusieurs recherches ont été effectuées dans la microstructure du muscle afin de comprendre le glissement des filaments de myosine. Il existe deux chaînes de myosine, soit lourde (MHC) et légère (MLC), qui sont constituées de plusieurs polypeptides (Staron et Johnson, 1993). Lors d'une contraction maximale volontaire, on augmente la sensibilité de l'actine-myosine au Ca^{2+} qui est libérée par le réticulum sarcoplasmique, un réseau de tubules entourant chaque myofibrille (Grange *et al.*, 1993). Cette réaction déclenche une cascade d'évènements qui augmenterait la force produite par le muscle travaillé. Aussi, plus l'activation musculaire sera élevée et plus les ions de calcium dans le muscle et des cellules environnantes seront présentes et meilleure sera la phosphorylation des chaînes légères de myosine due à une plus grande génération de force des ponts protéiques (Rixon *et al.*, 2007). Ceci amènera une augmentation de la vitesse de contraction et de la tension générée dans le muscle (Chiu *et al.*, 2003). Dans les études, la phosphorylation des chaînes légères de myosine est associée à une augmentation de la charge de travail des fibres rapides durant de courtes et de longues contractions (Grange *et al.*, 1993). Ces modifications structurelles engendreraient une augmentation de la force qui pourrait perdurer jusqu'à plusieurs minutes (Esformes *et al.*, 2011).

2.2.5 Le fondement cellulaire de la contraction musculaire

Le calcium est le minéral le plus abondant dans le corps, il se retrouve à 99 % dans nos os et 1 % dans le liquide extracellulaire (Phillips, 2015). Pour bien comprendre son rôle, il est important de revenir brièvement sur les bases moléculaires de la contraction musculaire. Tout d'abord, ce processus débute par la transmission de l'influx nerveux au travers de la plaque motrice produite par la libération d'acétylcholine (ACh) dans la fente synaptique (Poortmans et Boisseau, 2009). Lorsque les molécules d'ACh se positionnent sur les récepteurs post-synaptiques ceux-ci deviendront très perméables aux ions Na^+ et K^+ (Gordon *et al.*, 2000). Par la suite, il y aura une dépolarisation de la plaque motrice qui favorisera la libération du calcium intra-sarcoplasmique, ce qui déclenchera la contraction musculaire (Rossi et Dirksen, 2006). D'une part, la contraction musculaire est essentiellement dépendante à la distribution du calcium intracellulaire qui est principalement contrôlé par le réticulum sarcoplasmique (Sperelakis, 2013), à l'activité de la myosine ATPase et au magnésium libre (Mg^{2+}) (Morel et D'Hahan, 2000). C'est donc avec précision que la concentration du calcium intracellulaire doit être contrôlée. Pendant un entraînement, il est important de noter que les contractions musculaires lors d'un mouvement excentrique versus concentrique causeront des transferts calciques intramusculaires différents, ceux-ci étant plus élevés dans les contractions excentriques (Pasquet *et al.*, 2000). De plus, la concentration du calcium sarcoplasmique au repos est élevée dans les fibres lentes et faibles dans les fibres rapides (Berchtold *et al.*, 2000). C'est lors de l'arrivée du potentiel d'action qu'une plus grande quantité de calcium sera libérée par le réticulum sarcoplasmique dans le sarcoplasme.

D'autre part, l'excès de Ca^{2+} libre sera pris par des systèmes protéiques que l'on retrouve majoritairement dans les fibres à contraction rapide (Poortmans et Boisseau, 2009). L'une de ces protéines, la calmoduline, mentionnée plus haut dans la potentialisation à long terme, est abondante dans la fixation du calcium et dans la

régulation du fonctionnement des chaînes légères de la myosine (Balshaw *et al.*, 2002). La pompe SERCA, localisée sur les tubules longitudinaux, capte le calcium plasmique tandis que le réticulum sarcoplasmique libère le calcium entreposé en réserve sur la calséquestrine (protéines) (Poortmans et Boisseau, 2009). Cette pompe est aussi plus active et efficace lors des contractions des fibres rapides. De toute évidence, les fibres rapides sont avantagées et le tout sera expliqué davantage un peu plus loin.

Par ailleurs, il est important de mentionner que les ions Mg^{2+} , malgré leur complexité, sont impliqués dans le processus de transfert du calcium, dans la contraction et dans le relâchement musculaire (Berquin et Lebacq, 1992). Pour que le muscle retrouve son aspect d'origine, il faut que la stimulation nerveuse du muscle cesse et que le niveau du Ca^{2+} dans les citernes terminales rétablisse la formation originale des molécules de Troponine C et de Tropomyosine (Poortmans et Boisseau, 2009). En somme, la quantité et la durée du relâchement de calcium par le réticulum sarcoplasmique sont des mécanismes qui pourraient expliquer l'augmentation du potentiel d'action (Sandow *et al.*, 1965). La contraction est un fondement de base en physiologie, mais la compréhension de celle-ci est primordiale pour reconnaître le changement d'une meilleure contractilité du muscle chez les sujets.

2.2.6 Le rôle des pompes Na^+-K^+ dans la potentialisation

Le potassium qui est nécessaire pour la fonction de toutes les cellules dans le corps humain représente approximativement 0,2 % du poids corporel d'un individu (Phillips, 2015). Celui-ci est majoritairement localisé dans les muscles, les nerfs, les cellules sanguines et en très petite quantité dans le plasma sanguin. Tel que mentionné plus haut, la contraction musculaire nécessite la propagation d'un potentiel d'action pour aller relâcher le calcium du réticulum sarcoplasmique. Le potentiel d'action amène une augmentation rapide de Na^+ via les canaux sodium et,

immédiatement après, un relâchement similaire de K^+ . Cette pompe est située dans le sarcolemme et les tubules T. D'autre part, chaque contraction musculaire maximale cause des perturbations des ions Na^+ - K^+ et Cl^- (McKenna *et al.*, 2008).

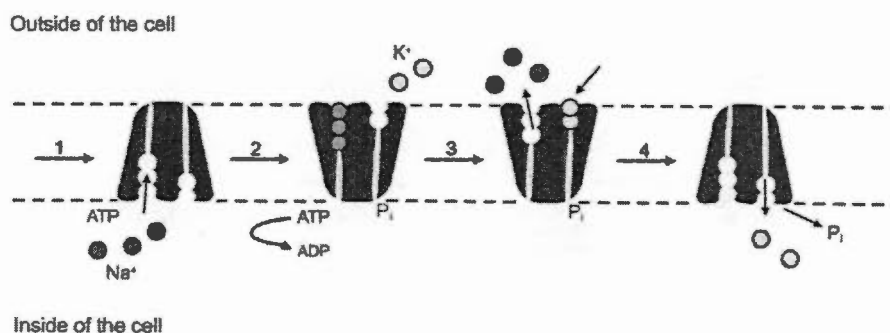


Figure 2.4 Pompes Na^+ - K^+ (Phillips, 2015)

Dans notre étude, nous ne pouvons ignorer la pompe sodium-potassium (Na^+ - K^+ ATPase), qui joue un rôle important dans le maintien du potentiel de repos des cellules nerveuses, musculaires et cardiaques. La pompe est chargée d'échanger les ions de sodium (Na^+) dans le milieu intracellulaire avec les ions potassium (K^+) dans le milieu extracellulaire (Silverthorn et Brun, 2007). Cette pompe est responsable du rétablissement de l'équilibre suite à un potentiel d'action. L'augmentation de ce système amène progressivement une meilleure excitabilité et contractilité du muscle, en plus d'augmenter l'endurance musculaire (Clausen, T., 2003). Dans le muscle squelettique, la concentration de Na^+ - K^+ est d'environ 0.2 à 0.8 nmol/g du poids total, mais peut augmenter avec l'entraînement en endurance ou en résistance (Green, *et al.*, 1999). De ce fait, l'augmentation de la pompe Na^+ - K^+ est d'environ 14 à 20 % lors des entraînements d'endurance, 16 % avec des entraînements de sprints et 10 à 18 % dans les entraînements en résistance à haute intensité. C'est pour l'une de ces raisons que les athlètes accroissent leurs habiletés à diminuer l'accumulation de K^+ extracellulaire (Green, *et al.*, 1999; McKenna *et al.*, 1993). La régulation des pompes Na^+ - K^+ pourrait être augmentée par l'entraînement, les hormones thyroïdiennes,

l'insuline, les glucocorticoïdes et une forte augmentation de K^+ (Clausen, T., 2003). La diminution de cette pompe peut être remarquée chez les diabétiques lors d'une déficience en K^+ , avec l'alcoolisme, l'immobilisation ou l'hypothyroïdie, pour en citer quelques-uns (figure 2.5) (Clausen, T., 2003).

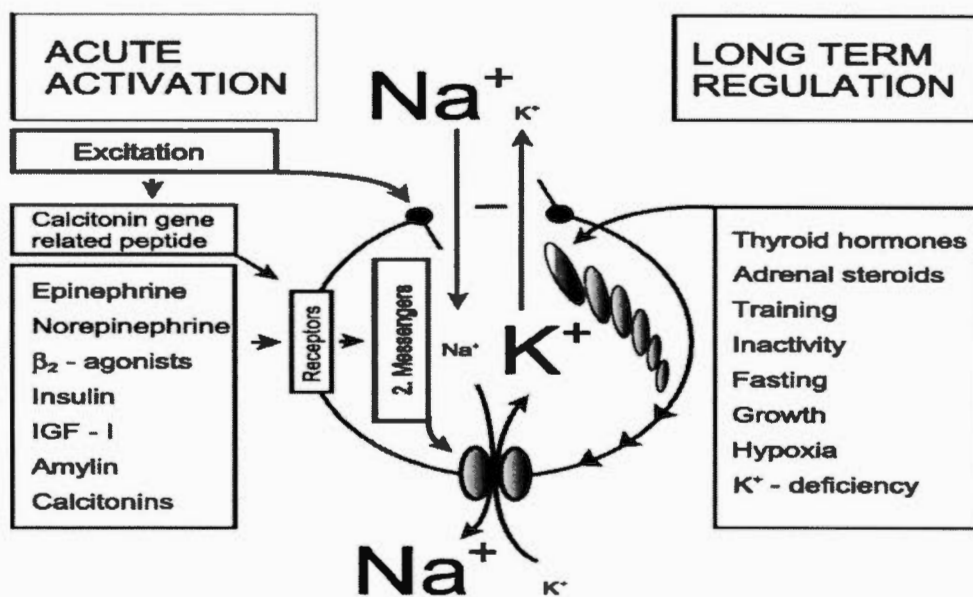


Figure 2.5 Facteurs expliquant la stimulation de la pompe Na^+-K^+ / Facteurs pouvant modifier la dégradation et la synthèse de la pompe Na^+-K^+ (Clausen, T, 1996)

Il a été prouvé que la réduction du pH dans le muscle durant des exercices à haute intensité cause l'ouverture des canaux K^+ (Nordsborg *et al.*, 2003). Des points importants à soulever dans la littérature indiquent que les changements de Na^+ , K^+ et H^+ pourraient améliorer la contractilité du muscle, donc la force (McKenna *et al.*, 2008). De plus, nous avons cru pendant plusieurs années que l'augmentation du lactate, l'augmentation de H^+ et le changement dans les concentrations de Na^+ , K^+ et Cl^- étaient les principaux facteurs contribuant à la fatigue et à la diminution de la force. Pourtant, plusieurs chercheurs démontrent aujourd'hui que ces ions pourraient réduire l'effet de la fatigue puisque leurs rôles seraient de préserver l'intégrité

cellulaire via la régulation du Ca^+ et des niveaux ATP (Aughey *et al.*, 2007). Par exemple, des études sur l'augmentation du K^+ illustrent que l'on pourrait augmenter la performance grâce à une meilleure potentialisation de force sous-maximale et à la dilatation des vaisseaux sanguins (Armstrong *et al.*, 2007). D'autre part, des études scientifiques démontrent que l'augmentation du K^+ pourrait causer la suppression de la potentialisation (Yensen *et al.*, 2002). Un point à mentionner dans cette recherche serait l'énergie contenue dans les fibres musculaires. L'énergie (ATP) diminue très peu durant l'apparition de la fatigue musculaire, mais une augmentation des ions H^+ , du lactate et d'adénosine est constatée. Ces trois facteurs activeraient la sensibilité de la pompe K^+ et permettraient une meilleure concentration et un relâchement du K^+ dans les tubules T qui lors d'une forte augmentation pourraient causer la suppression de la force (Yensen *et al.*, 2002). L'échec du relâchement du Ca^{2+} par les tubules T durant des stimulations à haute intensité amènerait une diminution rapide de la force. Ce type de fatigue serait principalement causé par le manque de propagation des potentiels d'action dans les tubules T à la suite de l'accumulation de K^+ (Jones *et al.*, 1979). Bref, l'importance de la pompe sodium-potassium est évidente lorsque l'on connaît son rôle. La potentialisation est due à l'ouverture de canaux séquentiels Na^+ K^+ .

2.2.7 Type de fibres musculaires

Dans la majorité de l'ensemble des études, les recherches démontrent que les individus ayant une proportion plus élevée de fibres de type IIa et IIb comme caractéristique auraient un meilleur potentiel pour augmenter le PAP dans le muscle (Hamada *et al.*, 2000). Cela signifie que la potentialisation du muscle ciblé serait plus élevée dans les muscles à fibres rapides. L'une des raisons serait que les fibres rapides subissent une plus grande phosphorylation que les fibres lentes (Metzger *et al.*, 1989). Ce facteur joue un grand rôle puisque l'on sait que le sommet du PAP est influencé par le relâchement du Ca^{2+} dans le réticulum sarcoplasmique et par

l'interaction de la protéine troponine (Hamada *et al.*, 2000). De plus, le retour au calme suite à une contraction musculaire est plus rapide chez les fibres de type II puisque le réticulum sarcoplasmique séquestre le Ca^{2+} à une vitesse plus élevée pour maintenir une faible concentration de celui-ci dans le sarcoplasme (Hamada *et al.*, 2000). Cela permet d'être plus performant puisque la pompe calcique est plus importante lors de la contraction et du relâchement musculaire.

De plus, les fibres rapides IIX, comme illustré à la figure 2.6, ont une puissance développée dix fois supérieure à celle des fibres lentes et il est fort probable que les chaînes légères de la myosine soient impliquées dans cette modulation (Schiaffino et Reggiani, 2011). Leur facilité à déployer autant de puissance est, entre autres, grâce à un des systèmes de calcium (Calséquestrine et paravalbumine) expliqué plus haut.

Les préparateurs physiques peuvent donc y jouer un grand rôle. Une étude illustre, chez les sprinteurs de niveau élite, une augmentation importante du nombre de fibres rapides et une diminution de la portion des fibres lentes après un entraînement en résistance d'une durée de trois mois incorporant des charges lourdes qui demandent une explosion et une puissance pour les déplacer (Andersen *et al.*, 1994). L'entraînement peut jouer un rôle en convertissant le ratio des fibres musculaires pour pouvoir augmenter leur force et leur performance lors des sprints (Williams, 2013).

Property	Fiber type		
	I	IIA	II(X)D
<i>Enzyme activity</i>			
Myosin ATPase	low	intermediate-high	high
Oxidative enzymes	high	intermediate-low	low
Glycolytic enzymes	low	intermediate-high	high
<i>Substrate concentration</i>			
ATP	intermediate	high	high
CP	intermediate	intermediate-high	high
Glycogen	intermediate-high	high	high
Triglycerides	high	intermediate	low
<i>Morphological characteristics</i>			
Mean fiber size, μm^2	4,500–6,290	6,070–6,702	3,800–7,436 many studies use IIA/X(D) which are smaller
Fiber capillary supply	great	great	small
Mitochondrial content	high	high	intermediate
Sarcoplasmic reticulum (SR)	SR in IIA and II(X)D is twice as extensive as type I SR		
Z band	type I Z band wider than type II Z band		
Connective tissue	collagen more abundant in ST than FT		
<i>Contractile parameters</i>			
Maximal shortening velocity (V_{max})	low	intermediate-high	high
Specific tension (P_0/CSA)	similar for all fiber types but tendency to be lower in type I		
Maximum power (W_{max})	low	intermediate	high
Relative tension cost (ATP Use/force developed)	low	intermediate-high	high
Maximum efficiency (power/ATP use)	similar for all fiber types		

Figure 2.6 Caractéristiques morphologiques des différents types de fibres musculaires chez l'homme (Poortmans, 2004)

D'autre part, la membrane des fibres rapides possède un nombre plus élevé de pompes $\text{Na}^+\text{-K}^+$ (Clausen, T. *et al.*, 1998). Nous savons que le muscle libère du K^+ en excès lorsqu'il est fatigué et, en échange, capte du Na^+ . Ce changement extracellulaire et intracellulaire de la concentration du K^+ amène une dépolarisation de la membrane cellulaire (Adrian, 1956). À cet égard, tel que mentionné dans le paragraphe sur les pompes sodium-potassium, une des hypothèses indique qu'une accumulation de K^+ pourrait être un important facteur d'une diminution de la force (Renaud et Light, 1992), car les pompes $\text{Na}^+\text{-K}^+$ ne fonctionnant pas assez rapidement résulteraient à une arrivée précoce de la fatigue musculaire (McKenna *et al.*, 2006). Par contre, le fait que la densité de ces pompes soit plus grande chez les fibres de type II, nous permet de croire que les sujets entraînés soient avantagés puisque leur seuil de fatigue musculaire est retardé lors d'exercices d'intensité sous-maximale (Duchateau, J. et Hainaut, 1984). Cette adaptation due à l'entraînement favorise le transfert du Ca^{2+} et pourrait retarder la fatigue musculaire.

2.3 La fatigue diffère chez la femme et l'homme

Plusieurs études démontrent une différence au niveau de la fatigue selon le sexe des individus. Durant des contractions isométriques, la femme semble être plus résistante à la fatigue que l'homme (Hunter, Sandra K., 2009). Il s'avère que la fatigue entre les sexes diffère selon les groupes musculaires. Il a été démontré que les muscles suivant: fléchisseurs du coude, extenseurs du dos, extenseurs du genou et les muscles respiratoires semblent être plus endurants chez la femme que l'homme (Hunter, S. K., 2014; Hunter, S. K. et Enoka, 2001). Il a été montré de même pour les contractions concentriques (Hunter, S. K., 2014).

Par contre, pour les contractions excentriques les résultats sont différents. Après plusieurs répétitions, il s'avère que les résultats sont très similaires (Power *et al.*, 2010). Au contraire, d'autres études démontrent que la femme serait encore plus résistante à la fatigue comparativement à l'homme (Sewright *et al.*, 2008). L'une des raisons serait qu'elle possède une meilleure irrigation sanguine dans les muscles durant des exercices de base à moyenne intensité, c'est-à-dire qu'elle bénéficie d'une meilleure capillarisation et d'une plus grande facilité de transfert des nutriments aux muscles (Yoon *et al.*, 2007). Il reste que ces études ont été faites sur des muscles isolés et qu'il est très difficile de transposer ces résultats vers un sport dû à la complexité des mouvements.

Pour ce qui est de la potentialisation, elle serait probablement moins efficace chez la femme. Une étude (Wust *et al.*, 2008) a démontré que le processus de ramener la concentration de Ca^{+} dans le réticulum sarcoplasmique était plus lent chez la femme comparativement à l'homme. La potentialisation augmenterait le temps pour atteindre la relaxation musculaire et serait en lien avec la diminution de la contractilité du muscle (Wust *et al.*, 2008).

2.4 Analyse physiologique de la pliométrie

La pliométrie est utilisée depuis plusieurs décennies en Russie et dans l'est de l'Europe, entre autres par Yuri Verkhoshansky, un entraîneur très reconnu dans l'athlétisme. Il fut l'un des premiers à découvrir, avec sa méthode-choc, qu'un entraînement de sauts pouvait améliorer significativement l'habileté à sauter et à sprinter chez des athlètes (Verkhoshansky *et al.*, 2009). C'est en 1975 que Fred Wilt amena le terme pliométrie (Davies *et al.*, 2015).

L'entraînement pliométrique se base sur le cycle d'étirement-raccourcissement (CER): l'action musculaire est obtenue lorsque le muscle sous tension s'allonge pour ensuite se contracter en se raccourcissant (Baechle *et al.*, 2000). Dans la littérature, les recherches démontrent qu'un muscle en contraction ayant subi un étirement génère plus de force grâce au potentiel d'énergie pouvant ramener le muscle à sa forme initiale (Davies *et al.*, 2015). Ce réflexe d'étirement, appelé réflexe myotatique, tel que décrit précédemment dans la section du réflexe H, se retrouve dans les fuseaux neuromusculaires des muscles (Buchwald, 1967). Lors de l'allongement musculaire, les fuseaux neuromusculaires envoient des influx nerveux à la moelle épinière. Ce trajet neurologique active le réflexe myotatique qui causera une contraction musculaire (Verkhoshansky *et al.*, 2009).

De plus, tout comme dans un entraînement en résistance, un entraînement de type pliométrique amène des implications physiologiques qui se produisent suite à des stimulations du système nerveux. L'augmentation de la force grâce au recrutement de nouvelles unités motrices, une meilleure propagation de l'influx nerveux et une meilleure contraction musculaire en sont quelques exemples (Sale, 2008). Un point important relevé par (Duchateau, Jacques et Hainaut, 2008) serait qu'une activation plus rapide des motoneurones lors des exercices dynamiques engendrerait une forte augmentation de l'activité ATPase et l'accroissement de calcium. Ce dernier pourrait

avoir un grand rôle dans la potentialisation. En fait, l'entraînement de type pliométrique amène une diminution de l'inhibition du réflexe myotatique, une amélioration de la sensibilité des fuseaux neuromusculaires, une augmentation du seuil des récepteurs de Golgi et une augmentation de la raideur musculaire (Davies *et al.*, 2015).

2.5 Le squat comme exercice de potentialisation par post-activation

Le squat est l'exercice le plus populaire et le plus reconnu dans le domaine du conditionnement et de la préparation physique. La principale raison est due au fait que cet exercice polyarticulaire est très exigeant au niveau biomécanique et neuromusculaire et se rapproche de très près aux mouvements sportifs (Verkhoshansky *et al.*, 2009). De plus, cet exercice permet de solliciter plus de 200 muscles pendant son exécution. La littérature référant au back squat dans la PAP est très nombreuse et, dans la prochaine section, les tableaux 2.1, 2.2 et 2.3 nous permettront de faire un sommaire de la littérature scientifique sur ce point.

2.6 L'entraînement et l'augmentation de la potentialisation

Il a été démontré dans de nombreuses études que la performance humaine puisse être affectée de manière positive ou négative suite à l'exercice physique. Plusieurs études constatent l'avantage d'effectuer une mise en train en sollicitant une potentialisation pour augmenter la performance des athlètes. L'une des raisons étant la température du muscle atteint lors de l'activité physique. Il y aurait une forte corrélation entre la vitesse de contraction musculaire, la puissance développée et la température musculaire, soit une augmentation d'environ 4 % à 12 % à chaque hausse 1°C (Sargeant, 1987; Shellock et Prentice, 1985). En plus, il a été établi dans la littérature

que la potentialisation est plus élevée dans les muscles où la température serait plus élevée (Bompa et Buzzichelli, 2015). De plus, l'élévation de la température centrale pourrait améliorer plusieurs autres facteurs. Elle permettrait entre autres d'augmenter la dissociation d'oxygène de l'hémoglobine et myoglobine, d'augmenter les réactions métaboliques, de faciliter le flux sanguin des muscles, de diminuer la viscosité des muscles, d'augmenter l'extensibilité du tissu conjonctif et d'améliorer la vitesse des potentiels d'action (Shellock et Prentice, 1985). Par contre, toutes ces améliorations ne seraient que temporaires puisqu'elles ne dureraient que pour 15 minutes et cette potentialisation serait causée par une réduction de 40 % du phosphate (P_i), ce qui pourrait produire une augmentation de 8 à 12 % des forces tétaniques (Stienen *et al.*, 1990). Les sports les plus souvent cités dans la littérature sont le soccer et le rugby (Bevan *et al.*, 2010; Low *et al.*, 2015; Pojskic *et al.*, 2015). La majorité des études démontrent l'utilisation d'un réchauffement dynamique, isométrique ou d'une contraction maximale volontaire pour augmenter la performance dans des sprints répétés. Par exemple, (Hilfiker *et al.*, 2007) ont constaté que l'ajout d'un exercice pliométrique tel que le drop jump avec seulement cinq répétitions dans le réchauffement augmente la puissance développée lors des sprints et des exercices de saut. De ce même point de vue, une autre recherche a étudié l'usage d'un traîneau (sled) avec une charge lourde dans un réchauffement. Ces chercheurs ont prouvé que les résultats étaient plus rapides de 1,2 % suite à un repos de quatre minutes lors d'un sprint de 40 verges (Smith, Chad E. *et al.*, 2014). De plus, une autre illustre une diminution du temps pour un sprint de 20 mètres (1,15 %) et de 40 mètres (1,24 %) avec l'incorporation de la pliométrie dans le réchauffement (Tsolakis et Bogdanis, 2012) et (Creekmur, 2015). Alors, l'augmentation de la potentialisation dans le réchauffement est un outil qui peut être utilisé pour augmenter la performance.

Dans la littérature, la majorité des études faites sur la potentialisation par post-activation utilisent le saut vertical ou des sprints à la suite d'un back squat, puisque le

transfert d'énergie est meilleur au niveau biomécanique et physiologique. Les deux demandent de la force rapide au niveau des extenseurs des hanches et genoux.

D'autre part, la PAP peut être réalisée avec des exercices du haut du corps. Par exemple, dans les recherches (Baker, 2003), les sujets ayant exécuté six répétitions au développé couché avec un poids d'environ 65 % de leur 1RM, augmentaient la force de leur puissance développée de 4,5 % lorsqu'ils exécutaient le même exercice avec une résistance plus légère immédiatement après leur première série. Puisque nos tests seront faits avec un back squat suivi d'un squat jump, nous allons nous concentrer plus spécifiquement sur les recherches ayant démontré des effets positifs ou négatifs se rapprochant le plus de notre méthodologie. Par contre, il était important de mentionner que l'augmentation de la PAP est réalisable par un réchauffement incluant des exercices du haut du corps.

À ce jour, les méthodes utilisées pour augmenter la PAP ont démontré autant des effets nuls que positifs face au type d'entraînement que nous tenterons d'évaluer. Un aspect qui revient souvent est la différence de la PAP chez les athlètes et des sujets qui ne s'entraînent que pour rester en santé. Il a été démontré que les individus actifs (s'entraînant de façon récréationnelle) présentent de la fatigue et une diminution de leur performance cinq minutes après un exercice maximal 90 % 1RM (squat). D'autre part, les athlètes entraînés ont une augmentation de la puissance après avoir pris un minimum de 5 minutes de repos allant jusqu'à 18 minutes à la suite d'un exercice maximal (Chiu *et al.*, 2003). Un des facteurs pouvant expliquer ces résultats proviendrait du conditionnement des athlètes qui seraient prédisposés à être plus résistant à la fatigue. La fenêtre temporelle de Tillin et Bishop (figure 2.2) nécessaire pour optimiser la PAP est propre à chaque individu et devrait être ajustée selon le choix de l'exercice de pré-sollicitation (Docherty et Hodgson, 2007) .

De plus, le temps entre l'exercice et le test pour démontrer l'efficacité de la PAP semble être un point qu'il ne faut pas négliger. (Chatzopoulos *et al.*, 2007) Il a été démontré que performer un demi-squat à 90 % d'un 1 RM pourrait améliorer le temps d'un sprint sur une distance de 30 mètres après 5 minutes, mais que le temps est plus élevé après 3 minutes de repos seulement. Lorsque l'on combine une méthode pour augmenter la potentialisation dans notre entraînement, le repos est l'un des facteurs les plus importants et un repos de moins de 5 minutes n'est pas suffisant pour permettre au corps de récupérer (Kilduff *et al.*, 2008).

Un autre facteur qui pourrait favoriser les individus relativement à un entraînement par post-activation est leur efficacité neuromusculaire. Ce facteur est relié à l'efficacité du recrutement des fibres musculaires du groupe entraîné pour produire le mouvement voulu avec explosion et puissance (Verkhoshansky *et al.*, 2009). Ce contrôle moteur est déterminé par le système nerveux et le processus neuromusculaire, tous deux fondamentaux dans la production de la force.

L'autre facteur qui fait varier les résultats dans les publications scientifiques est l'intensité (relative % 1-RM) de l'exercice. Dans la recherche de (Rahimi, 2007), il démontre que le temps d'un sprint de 40 mètres diminue à la suite d'un back squat. Par contre, les résultats varient selon l'intensité de l'exercice. Les participants étaient divisés en trois groupes et devaient exécuter un squat à 60%, 70% et 80 % de leur 1RM. Ils devaient réaliser deux séries de quatre répétitions avec quatre minutes de repos avant d'effectuer le sprint. Les participants dans le groupe ayant fait l'exercice avec une intensité de 80 % ont réussi à réduire plus significativement leur temps dans le sprint de 40 mètres comparativement aux autres groupes. Pour appuyer ce point, les études démontrent l'efficacité d'un back squat entre 70 % à 100 % 1RM comme stimulus pour augmenter la PAP (McBride *et al.*, 2005). La durée de récupération afin d'être au sommet de la force après avoir fait un back squat lourd semble être optimale entre 8 et 12 minutes (Kilduff *et al.*, 2008).

Par ailleurs, d'autres études ne démontrent aucun effet positif par rapport à ce type d'entraînement. (Scott et Docherty, 2004) n'ont trouvé aucune augmentation dans le saut horizontal et dans le saut vertical suite à un back squat de 5RM avec des sujets ayant au moins une année d'expérience dans l'entraînement en résistance.

Tableau 2.1. Ouvrages traitant du temps de récupération suite à un back squat pour optimiser la performance des sauts (Gouvea *et al.*, 2013)

Study	Participants	CA	Volume/Intensity	Interval CA between MA	MA	Results Jump Height
Kilduff <i>et al.</i> 2007	23 ATL rugby	Squat	1 x 3 RM	15 s, 4, 8, 12, 16 and 20 min	CMJ	ND
Kilduff <i>et al.</i> 2008	20 ATL rugby	Squat	3 x 3 RM (87% 1RM)	15 s, 4, 8, 12, 16 and 20 min	8 CMJ	↓ (15 s) ↑ (8 min)
Jones & Lees 2003	8 TRA	Squat	1 x 5 rep (85% 1 RM)	3, 10 and 20 min	3 CMJ 3 DJ	ND
Esformes <i>et al.</i> 2010	13 ATL power	Squat	1 x 3 RM	5 min	3 CMJ	ND
Saez Saez de Villarreal <i>et al.</i> 2007	12 ATL volleyball	Squat	2 x 4 rep (80% 1 RM) + 2 x 2 rep (85% 1 RM) 2 x 4 rep (80% 1 RM) + 2 x 2 rep (85% 1 RM) + 2 x 1 rep (90% 1 RM)	5 min and 6 h	CMJ DJ	↑ (5 min, 6 h)
Mitchell & Sale 2011	11 ATL rugby	Squat	1 x 5 RM	4 min	5 CMJ	↑
Crewther <i>et al.</i> 2011	9 ATL	Squat	1 x 3 RM	15 s, 4, 8, 12, and 16 min	CMJ	↑ (4, 8, 12 min) ↓ (15 s, 16 min)
Webber <i>et al.</i> 2008	12 ATL Power	Squat	1 x 5 rep (85% 1 RM)	3 min	7 CMJ	↑
Till & Cooke 2009	20 ATL soccer	Deadlift	1 x 5 RM	7 min	3 CMJ	ND
Khamoui <i>et al.</i> 2009	16 TRA	Squat	1 x 2 - 5 RM (85% 1 RM)	5 min	6 CMJ	ND
Young <i>et al.</i> 1998	10 TRA	Squat	1 x 5 RM	4 min	3 CMJ + 19 Kg	↑
Gourgoulis <i>et al.</i> 2003	20 TRA	Squat	5 x 2 rep (20, 40, 60, 80 and 90% 1 RM)	± 20 min	2 CMJ	↑
Jensen & Ebben 2003	10 ATL Power	Squat	1 x 5 RM	10 s, 1, 2, 3 and 4 min	CMJ	↓ (10 s)
Deutsch & Lloyd 2008	8 TRA	Squat	1 x 3 RM	10 min	CMJ	ND

ATL - athletes; CA - conditioning activity; CMJ - countermovement jump; DJ - drop jump; MA - main activity; ND - no significant difference; rep - repetitions; RM - repetition maximum; s - second; ↑ - significant increment in jump height; ↓ - significant decrement in jump height; TRA - trained.

L'entraînement contraste semble être la méthode d'entraînement la plus efficace puisqu'elle combine deux méthodes d'entraînements, soit une alternance des charges lourdes et des charges légères. Cette méthode a pour but d'augmenter la puissance mécanique de l'exercice choisi. De plus, nous pouvons constater que celle-ci est mentionnée dans les recherches pour augmenter la PAP (Lesinski *et al.*, 2014). Cet entraînement donne l'impression à l'athlète d'avoir une plus grande facilité en alternant des charges lourdes et des charges légères (Maio Alves *et al.*, 2010). Cette méthode implique un exercice de force maximale avec un exercice d'explosion et de puissance et serait donc plus efficace pour augmenter la PAP (Maio Alves *et al.*, 2010). Alors, la combinaison d'un back squat avec un exercice pliométrique serait la plus avantageuse pour obtenir des résultats optimaux (Maio Alves *et al.*, 2010). D'une part, tous les exercices de pré-sollicitation de moins de 10 secondes induiraient une PAP plus élevée (Batista *et al.*, 2011). De plus, les athlètes qui évoluent dans des sports qui demandent une intensité maximale et un recrutement des fibres rapides de type II (haltérophiles, sprinteurs, sauteurs) seront avantagés lors de l'utilisation de cette technique (Requena *et al.*, 2011).

Il reste que la périodisation et la préparation de l'entraînement afin d'augmenter la performance sont primordiales puisque des paramètres d'entraînements mal adaptés amèneront de la fatigue musculaire due aux nombreuses contractions demandées et diminuera la performance (Stone *et al.*, 2008). Bref, avec la méthode contraste, les paramètres devront être mesurés et calculés de façon précise afin d'optimiser le bilan, puisque les résultats de la PAP dépendent de plusieurs variables telles que le volume, l'intensité de la pré-sollicitation, la période de récupération, le type d'exercice choisi et les caractéristiques du sujet (Tillin et Bishop, 2009). Afin d'avoir un aperçu rapide des travaux faits sur la PAP, les tableaux 2.2 et 2.3 regroupent les principaux articles (Tillin et Bishop, 2009).

Tableau 2.2 1^{ère} partie - Sommaire des études sur la potentialisation par post-activation (Tillin et Bishop, 2009)

Study	Subjects	Pre-conditioning contraction (condition)	Volume	Rest interval	Performance test	Performance changes
Belaie et al. ^[47]	10 UT M	isovelocity MVC, knee extension	10 (30 sec RI)	4 min 6 min 8 min 10 min	isovelocity knee extensions at all rest intervals	0% ↑ P ₁ at each rest interval
Behm et al. ^[24]	9 UT M	isometric MVC, knee extension	1 × 10 sec 2 × 10 sec (1 min RI) 3 × 10 sec (1 min RI)	1, 5, 10, 15 min for all volumes	isometric MVC knee extensions at all rest intervals	↔ ↔ 10-min post: 6.9% ↓ P ₁ 15-min post: 7.5% ↓ P ₁
Chelzopoulou et al. ^[48]	15 UT M	Back-squat	10 × 1 rep 90% 1 RM (3 min RI)	3 min 5 min	30-m sprint 30-m sprint	↔ 3% ↓ 0-10-m sprint time*, 2% ↓ 0-30-m sprint time*
Chiu et al. ^[23]	24, 7 RT, 17 UT (12 M, 12 F)	Back-squat	90% 1 RM × 5 (2 min RI)	5 min 6 min 7 min 5 min 6 min 7 min	CMJ: 30% 1 RM 50% 1 RM 70% 1 RM SJ: 30% 1 RM 50% 1 RM 70% 1 RM	RT: 1-3% ↑, UT: 1-4% ↓, RT > UT* RT: 1-3% ↑, UT: 1-4% ↓, RT > UT* RT: 1-3% ↑, UT: 1-4% ↓, RT = UT RT: 1-3% ↑, UT: 1-4% ↓, RT > UT* RT: 1-3% ↑, UT: 1-4% ↓, RT = UT RT: 1-3% ↑, UT: 1-4% ↓, RT = UT
Ebben et al. ^[49]	10 RT M	Dynamic bench-press	3-5 RM	0-5 sec	Medicine ball BPT	↔ GRF
French et al. ^[60]	14 RT (10 M, 4 F)	isometric MVC, knee extension	3 sec × 3 (3 min RI) 5 sec × 3 (3 min RI)	0-5 sec	CMJ DJ 5 sec C-sprint isovelocity KE CMJ DJ 5 sec C-sprint isovelocity KE	↔ 5.0% ↑* (4.9% ↑ GRF*) ↔ 8.1% ↑ P ₁ ↔ ↔ ↔ 3.0% ↓ P ₁
Gilbert et al. ^[51]	7 RT M	Back-squat	100% 1 RM × 5 (5 min RI)	2 min 10 min 15 min 20 min 30 min	isometric MVC at all rest intervals	5.8% ↓ RFD 5.8% ↓ RFD 10.0% ↑ RFD 13.0% ↑ RFD* ↔
Gossen and Sale ^[11]	10 UT (6 M, 4 F)	isometric MVC, knee extension	10 sec	20 sec 40 sec	Dynamic KE Dynamic KE	↔ ↔

Continued next page

Tableau 2.3 2^{ème} partie - Sommaire des études fait sur la potentialisation par post-activation
(Tillin et Bishop, 2009)

Study	Subjects	Pre-conditioning contraction (condition)	Volume	Rest interval	Performance test	Performance changes
Gourgoule et al. ¹⁷⁴	20 M (11 RT, 9 UT)	Back-squats	2 reps of 20%, 40%, 60%, 80%, and 90% 1RM (5 min RI)	0-5 sec	CMJ	2.4% ↑ RT - UT [*] RT: 4.0% ↑ UT: 0.4% ↑
Gulich and Schmidbleicher ¹⁵	Study 1: 34 RT (22 M, 12 F) Study 2: 8 RT	Isometric MVC, leg press isometric MVC, plantarflexion	3x5 sec (5 min RI) 5x5 (1 min RI)	3 min, then every 20 sec, 8 jumps measured 1 min, then every 2nd min for 13 min	CMJ and DJ isometric MVC, plantarflexion	3.3% ↑ CMJ [*] , ↑ DJ [*] 13% ↓ RFD 1 min post [*] , RFD 3 min post, 19% ↑ RFD 5-13 min post [*]
Hanson et al. ³²	30 UT (24 M, 6 F)	Back-squats	4 reps of 80% 1 RM	5 min	CMJ	↔
Jenson and Ebben ³³	21 RT (11 M, 10 F)	Back-squats	5 RM	10 sec 1 min 2 min 3 min 4 min	CMJ CMJ CMJ CMJ CMJ	4-13% ↓ [*] ↔ ↔ ↔ ↔
Kilduff et al. ³⁴	23 RT M	Dynamic back-squats Dynamic bench-press	1x3RM 1x3 RM	15 sec 4 min 8 min 12 min 16 min 20 min 15 sec 4 min 8 min 12 min 16 min 20 min	CMJ CMJ CMJ CMJ CMJ CMJ Barbell BPT Barbell BPT Barbell BPT Barbell BPT Barbell BPT Barbell BPT	2.9% ↓ P _p [*] ↔ 6.8% ↑ P _p [*] 8.0% ↑ P _p [*] ↔ ↔ 4.7% ↓ P _p [*] ↔ 2.8% ↑ P _p [*] 5.3% ↑ P _p [*] 0.8% ↑ P _p [*]
Magnus et al. ³⁵	10 UT M	Back-squats	90% 1 RM	3 min	CMJ	↔
Rahmi ⁴⁵	12 RT M	Back-squats	2x4 reps of 80% 1 RM (2 min RI)	4 min	40-m sprint	3% ↓ 0-40 m sprint time [*]
Rixon et al. ³⁴	30 UT (15 M, 15 F)	Dynamic back-squats isometric MVC back-squats	3 RM 3x3 sec (2 min RI)	3 min 3 min	CMJ CMJ	2.9% ↑ JH [*] , 8.7% ↑ P _p [*] ↔ JH, 8.0% ↑ P _p [*]
Robbins and Docherty ³⁷	16 UT M	Isometric MVC back-squats	3x7 sec (8 min between each set)	4 min	CMJ after each set of isometric MVC	↔
Young et al. ³⁶	10 UT M	Back-squats	5 RM	4 min	LCMJ	2.8% ↑ [*]

BPT = bench press throw; CMJ = counter movement jump; C-sprint = cycle sprint; DJ = drop jump; F = females; GRF = ground reaction force; JH = jump height; KE = knee extensions; LCMJ = loaded counter movement jump; M = males; MVC = maximum voluntary contractions; P_f = peak force; P_p = peak power; P_t = peak torque; RFD = rate of force development; RI = rest interval; RM = repetition maximum; RT = resistance/athletically trained; SJ = squat jump; UT = un/recreationally trained; ↑ indicates increase; ↓ indicates decrease; ↔ indicates no differences; * p < 0.05.

2.6.1 La PAP dans la prévention des blessures

En plus des impacts sur la performance sportive, les mécanismes de la potentialisation par post-activation démontrent leur utilisation dans la prévention des blessures. En effet, la meilleure synchronisation du recrutement des muscles agonistes et antagonistes, par exemple lors d'un exercice en chaîne fermé tel un back squat, permet une meilleure protection de l'articulation du genou grâce à la coactivation des muscles (Kellis et Kouvelioti, 2009; Pincivero *et al.*, 2000). De plus, lorsque la fatigue fait surface, une diminution de la proprioception est notable et les risques de blessures sont plus élevés (Gear, 2011). La fatigue étant de plus étroitement liée au système nerveux et celui-ci l'est également au mécanisme de la PAP. Bref, la gestion de la fatigue devient un point important dans la préparation physique des joueurs de hockey.

2.7 Autres théories mentionnées sur la potentialisation

Dans la littérature, d'autres théories énonçant l'augmentation de la potentialisation étaient citées. Ces théories ne sont mentionnées que dans quelques recherches et revues de la littérature. Elles devraient être étudiées plus en détail afin de pouvoir conclure si elles jouent un rôle définitif dans la potentialisation. L'une de celles-ci étant la rigidité musculaire par ses propriétés viscoélastiques qui pourrait lui permettre de diminuer certains effets associés à la fatigue (Binder-Macleod et Kesar, 2005; Chatzopoulos *et al.*, 2007; Shorten, 1987). De plus, lorsqu'une personne performe une activité qui requiert un effort extrêmement élevé, il y a une diffusion d'activation du muscle sollicité responsable de la tâche vers les autres muscles. Cette diffusion améliorerait probablement la stabilité posturale de l'individu et pourrait permettre une passation de la force à travers les articulations par les deux muscles rattachés à ceux-ci. (Enoka, 2002; Howard et Enoka, 1991)

Par contre, peu de recherches portent sur les réflexes spinaux et leurs rôles dans la rigidité musculaire qui pourrait amener une meilleure potentialisation.

2.7.1 Angle de pennation des muscles

Une autre théorie mentionnée dans quelques articles scientifiques serait l'angle de pennation des muscles. Celle-ci pourrait affecter la transmission de force aux tendons et aux os (Folland et Williams, 2007). Un angle plus petit permet un meilleur levier mécanique et celui-ci serait plus efficace, puisque la direction de la force serait plus élevée dans l'orientation des fibres musculaires. Cet aspect pourrait contribuer à la PAP puisqu'elle pourrait augmenter les performances (Tillin et Bishop, 2009).

2.7.2 L'influence du rythme circadien sur la performance d'une compétition

L'influence d'un entraînement en résistance le matin d'une compétition sur la performance anaérobie retient de plus en plus l'attention des chercheurs. Il y a des indications qu'un entraînement matinal pourrait amener une augmentation de la performance vers la fin de la journée (Kilduff *et al.*, 2013). Le relâchement de la testostérone et du cortisol pourrait être l'un des facteurs principaux. Ces hormones qui atteignent un sommet dans la matinée jouent un rôle d'une grande importance dans la performance des athlètes. La sécrétion de ces hormones diminue au cours de la journée et pourrait être maintenue avec l'aide d'un entraînement en résistance le matin de la compétition. Il y a une corrélation positive entre le taux de testostérone libre et l'habileté à produire de la force. Des études récentes ont identifié un lien entre le niveau de testostérone et l'aspect comportemental de l'athlète au rendement puisqu'il aurait une meilleure motivation et une confiance en soi (Cook et Crewther, 2012).

Dans ce sens, l'une des recherches a démontré qu'un entraînement en résistance six heures avant la compétition avait augmenté la performance des joueurs de rugby

(Cook *et al.*, 2014). L'entraînement six heures avant des tests physiques avait augmenté les résultats de la puissance développée du sprint de 40 mètres, d'un développé couché 3RM et d'un squat.

2.7.3 Le ratio de la force relative dans l'augmentation de la PAP

Quelques études ont démontré que la force relative de l'athlète serait un prédicteur de l'utilisation de la PAP. Les athlètes obtiendraient de meilleurs résultats en utilisant un entraînement augmentant la potentialisation selon le pourcentage par rapport à leur poids corporel (ratio charge/poids corporel) (Harrison, 2011; Hrysonmallis et Kidgell, 2001).

2.7.4 Aide ergogène

Cette section ne sera pas évaluée dans notre projet, mais il était important de mentionner les aides ergogènes considérant leur popularité dans l'entraînement chez les athlètes de haut niveau. Les suppléments alimentaires sont de plus en plus populaires et utiles pour augmenter la performance et la santé globale chez des individus ayant des carences dans leur alimentation. De plus, il est important de noter que les suppléments mentionnés ci-dessous ne seront détaillés que pour leur efficacité à augmenter ou nuire à la potentialisation. Il reste que certains de ces suppléments peuvent améliorer la performance athlétique, mais n'a été démontré dans aucune étude touchant notre sujet. Bref, est-ce que l'aide ergogène pourrait améliorer l'effet ou le rendement d'une potentialisation chez un individu?

2.7.4.1 Arginine

La potentialisation à long terme semble être dépendante de l'oxyde nitrique synthase (NOS) (Schuman et Madison, 1991) et semble jouer un rôle dans la stimulation d'un neurone présynaptique (Arancio et al., 1996; Bartus et al., 2013). Une supplémentation en arginine pourrait-elle améliorer la PLT? Il y a peu d'évidence qui le prouve puisque la production manquante d'oxyde nitrique synthase pourrait être compensée par d'autres enzymes dans le corps (Kantor et al., 1996).

2.7.4.2 Magnésium

Dans la contraction musculaire, le magnésium est important au métabolisme du calcium (Konrad *et al.*, 2004) puisqu'il augmente la quantité de calcium dans le réticulum sarcoplasmique (Aikawa ; Nowak *et al.*, 1984). De plus, il est essentiel au transport des ions de potassium et de calcium dans les cellules (Jahnen-Dechent et Ketteler, 2012). Une des recherches montre une augmentation de concentration dans le cerveau par la prise orale de magnésium L-Threonate, qui pourrait augmenter les fonctions d'excitabilité lors de périodes demandant un haut niveau d'excitation des neurones (Slutsky *et al.*, 2010). C'est-à-dire qu'une augmentation de celui-ci au niveau du cerveau pourrait améliorer la facilitation synaptique et la potentialisation à long terme (Dean, 2008). Bref, la prise orale de magnésium pourrait permettre de maintenir la fonction des neurones lors d'une interruption et permettre une meilleure activation (Slutsky *et al.*, 2010) .

2.7.4.3 Taurine

La supplémentation de taurine pourrait indirectement être un supprimeur de la signalisation des récepteurs NMDA (Suarez et Solis, 2006). Par contre, elle pourrait aussi stimuler et causer un relâchement supérieur de glutamate et de GABA à partir

des synapses et pourrait réduire une transmission excitatrice (Bardoni *et al.*, 2004; Mameli *et al.*, 2005; Suarez et Solis, 2006). Une autre recherche effectuée sur des rats a démontré qu'une supplémentation de taurine de 460mg/kg par jour durant quatre semaines pouvait augmenter la phosphorylation de CAMKII qui joue un rôle dans la potentialisation à long terme, comme mentionné précédemment (Iio *et al.*, 2012; Toyoda et Iio, 2013). Bref, quelques recherches démontrent que la consommation de taurine pourrait induire une potentialisation synaptique puisqu'elle pourrait déclencher une cascade de plusieurs molécules qui jouent un rôle dans l'arrivée de la PLT (del Olmo *et al.*, 2000; del Olmo *et al.*, 2003; del Olmo *et al.*, 2004).

2.7.4.4 Caféine

Dans une étude sur des rats, la caféine pourrait avoir un impact dans l'augmentation du relâchement de glutamate (Solinas *et al.*, 2002). Dans une autre étude, elle pourrait avoir un impact sur l'augmentation de la force dans les contractions musculaires pendant une stimulation de basse fréquence (40 Hz) et pourrait augmenter la potentialisation dans la dernière minute du protocole de 15 minutes chez des personnes qui ne consomment pas régulièrement de la caféine. Ce protocole utilise une dose de 6mg/kg par jour durant quatre jours (Tarnopolsky et Cupido, 2000). Dans une autre étude, la consommation de caféine affecte grandement le relâchement du Ca^{2+} dans le réticulum sarcoplasmique. La caféine activerait le relâchement de calcium par le réticulum sarcoplasmique puisque cette substance est capable de garder les canaux ouverts plus longtemps sans perdre aucune sensibilité relativement au Mg^{+} et ATP (Sperelakis, 2013). Par contre, la prise de caféine ne semble pas augmenter la potentialisation à long terme (Lee *et al.*, 1987). Bref, la caféine peut influencer positivement la performance puisqu'elle agit au niveau de la jonction musculaire ou au niveau de la contractilité du muscle.

2.7.4.5 Créatine

Une étude sur la prise orale d'une supplémentation de créatine a démontré une augmentation de la force maximale musculaire du bas de corps et de l'amélioration de la fatigue sur l'effet d'un entraînement de post-activation par activation (PAP), soit un entraînement contraste (Wang *et al.*, 2016). L'une des conclusions serait que la supplémentation de 20g/jour durant 7 jours de créatine pourrait augmenter la présence de phospho-créatine pour synthétiser l'ATP durant une contraction. La supplémentation de créatine pourrait alors réduire la fatigue et augmenter la récupération pour permettre une meilleure potentialisation 8-12 minutes suivant l'activité demandée (Wang *et al.*, 2016).

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

3.1 Introduction

Ce projet avait pour objectif de démontrer que la potentialisation pourrait augmenter les performances des joueurs de hockey. Plus précisément démontrer les bienfaits de cette méthode, lorsqu'exécutée plusieurs heures avant la compétition. De plus, en nous basant sur la revue de la littérature, nous avons pu nous appuyer sur plusieurs recherches qui pourraient expliquer ce phénomène. Par conséquent, l'objet de la recherche a visé à évaluer les effets d'un entraînement de style contraste pour augmenter la potentialisation par pré-sollicitation et de déterminer la durée des effets positifs si l'entraînement est exécuté six heures avant une compétition.

3.2 Participants

3.2.1 Population et mode de sélection

L'échantillon utilisé était composé de garçons de 15 à 21 ans inscrits au programme de hockey sur glace de niveau Midget AAA et LHJMQ. La taille de notre échantillon était de 41 sujets afin de pouvoir obtenir des résultats qui seront statistiquement significatifs au niveau de la saturation des données. Les participants choisis provenaient principalement des équipes suivantes: Grenadiers de Châteauguay Midget AAA et des Screaming Eagles du Cape Breton de la LHJMQ. Il est important de mentionner que tous les mineurs ont signé un consentement avec leurs parents pour participer à notre projet (voir Appendice A). Les responsables des équipes

choisies ont divisé l'équipe en deux groupes aux fins de notre étude: un groupe expérimental et un groupe témoin issu de chaque équipe. Le groupe expérimental étant les sujets ayant obtenu les meilleurs résultats dans le saut vertical et le saut en longueur. Normalement, on divise le groupe de manière aléatoire. Par contre, nous avons décidé de diviser nos groupes de cette façon pour être en mesure de mieux évaluer et comparer avec la littérature scientifique la potentialisation pré-intervention et post-intervention avec un groupe formé selon la performance des sauts. De ce fait, la majorité des études mentionnées dans notre revue de littérature démontre que les individus ayant obtenu les meilleurs résultats au saut vertical et au saut en longueur possèdent généralement une proportion plus élevée de fibres rapides et auraient un meilleur potentiel pour augmenter la potentialisation du muscle ciblé. La sélection des deux équipes de haut niveau a été possible grâce à la compagnie Axxeleration qui a la responsabilité de la préparation physique de ces équipes durant l'année.

La collecte de donnée a été effectuée au mois de février 2017, soit durant la saison de hockey 2016-2017. Il est important de mentionner que les sujets choisis ne s'adonnaient à aucun entraînement PAP par contraste 6 heures avant la compétition. Ces participants s'entraînent sur la glace en moyenne 10 heures par semaine en plus de 2 heures d'entraînement en résistance et d'exercices pliométriques pour un total de 12 heures d'entraînement, sans compter les parties qui ont lieu la fin de semaine ainsi que les déplacements. Leur encadrement fait par différents spécialistes tels que les entraîneurs sur glace, les physiothérapeutes, les préparateurs physiques, les nutritionnistes, les médecins et les psychologues fait en sorte qu'ils peuvent soutenir un volume d'entraînement très élevé tout au long de l'année.

3.2.2 Critères d'inclusion et d'exclusion

3.2.2.1 Critères d'inclusion

Les critères d'inclusion étaient les suivants:

- Avoir un minimum de 15 ans
- Faisant partie d'une équipe Midget AAA
- Faisant partie d'une équipe LHJMQ
- Avoir une base dans l'entraînement en résistance

3.2.2.2 Critères d'exclusion

- Impossibilité de participer à la totalité de l'étude
- Refus de participation
- Présence de toute pathologie et/ou blessure contre-indiquant l'activité sportive et la réalisation des tests prévus par le protocole
- Ne pas avoir un minimum d'une année d'expérience en entraînement en résistance

3.2.3 Aspects déontologiques et consentement

Cette recherche a reçu l'approbation du comité de déontologie du département de kinanthropologie (CDKIN), un sous-comité du comité institutionnel d'éthique de la recherche chez l'humain (CIÉR) de l'UQAM (voir Appendice B). Puisque quelques-uns de nos participants sont mineurs, une autorisation parentale fut exigée. Par contre, ceux-ci ont profités des séances d'entraînement en salle de musculation avec un préparateur physique en plus d'obtenir des heures de glace qui pourrait augmenter leurs performances sportives et d'apprendre sur la préparation d'avant-match. Il est important de mentionner qu'aucun participant n'a reçu de compensation financière.

D'autre part, aucun risque de blessure supplémentaire n'était associé à la participation du projet. De ce point de vue, les risques de blessure lors des entraînements et des tests physiques sur glace sont moindres comparativement à ceux rencontrés durant la saison de hockey chez ces joueurs. Chaque joueur a pu mettre fin à sa participation et se retirer du projet en tout temps s'il le désirait. Pour conclure, aucune information permettant d'identifier les participants ne fut divulguée.

3.3 Les tests

3.3.1 Les mesures anthropométriques

De nos jours, il est évident que les hauts niveaux au hockey sont réservés à une majorité d'athlètes ayant des caractéristiques morphologiques intéressant grandement les recruteurs dans la détection de l'évolution et du développement du joueur. Dans un premier temps, le poids a été relevé à l'aide d'un pèse-personne. Cette constance anthropométrique nous a permis, avec leur composition corporelle, d'établir une approximation de leur masse musculaire. Ce poids idéal, qui comprend la quantité minimale de graisse avec le ratio de la masse, est un déterminant important dans la performance du hockey sur glace. Par la suite, la stature (taille) a été mesurée à l'aide d'un ruban à mesurer installé verticalement sur un mur. Les mesures anthropométriques ont été comparées à ceux de Statistique Canada (Shields *et al.*, 2010). Cette mesure nous donne la distance comprise du crâne à la plante du pied pour un sujet. Les mesures anthropométriques suivent les directives de la ("Société canadienne de physiologie de l'exercice. Guide canadien pour l'évaluation de la condition physique et des habitudes de vie : approche de la SCPE pour une vie active et en santé", 2003).

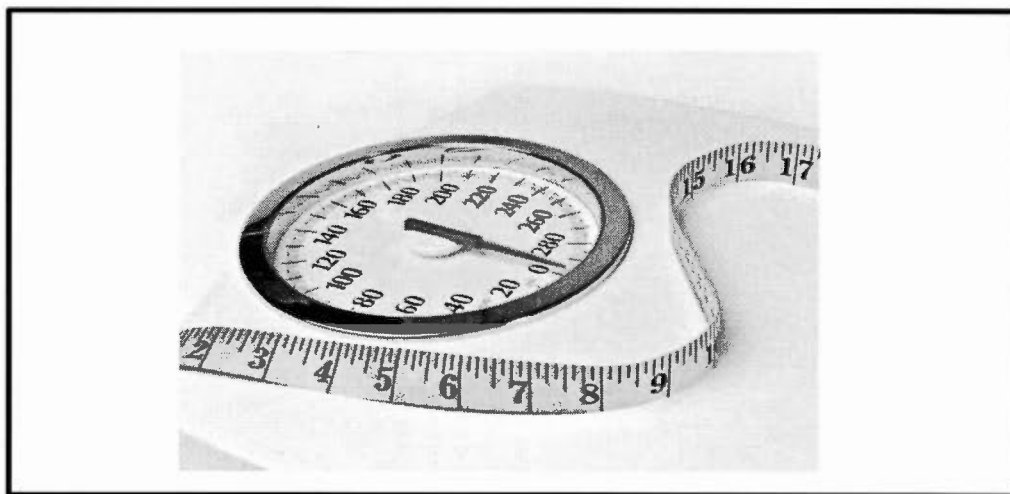


Figure 3.1 Instruments pour mesures anthropométriques
 (<http://santevia.com/are-you-dehydrated-without-even-knowing-it/>)

3.3.2 La graisse corporelle

La composition corporelle est l'une des données les plus importantes chez un préparateur physique, puisqu'un excès de graisse diminue la capacité fonctionnelle et surtout les performances sportives (Shields, 2009). Il a été démontré dans la littérature qu'il semble ne pas y avoir de différence entre la prise de plis cutanés (7 plis) et la bio-impédance pour l'estimation du pourcentage de gras (Ostojic, 2006). Par contre, plusieurs nouvelles méthodes existent pour nous permettre d'avoir une estimation du pourcentage de gras (Lohman *et al.*, 1997). Pour notre projet, nous avons utilisé une équation regroupant 12 plis cutanés à l'aide du logiciel Poliquin® BioSignature Modulation (présenté dans l'image ci-haut). Le logiciel nous permet de mesurer la composition corporelle rapidement et efficacement. La majorité des préparateurs physiques de haut niveau utilise cette méthode, tel que Mark Lambert préparateur du Lightning de Tampa Bay dans la LNH. L'une des raisons est qu'avec l'expérience dans la prise des plis cutanés cette formule est celle qui se rapproche le plus du DEXA Scan (absorption bi-photonique à rayons X) qui est l'un des plus

précis pour obtenir la masse grasse, mais reste une méthode très coûteuse monétairement.

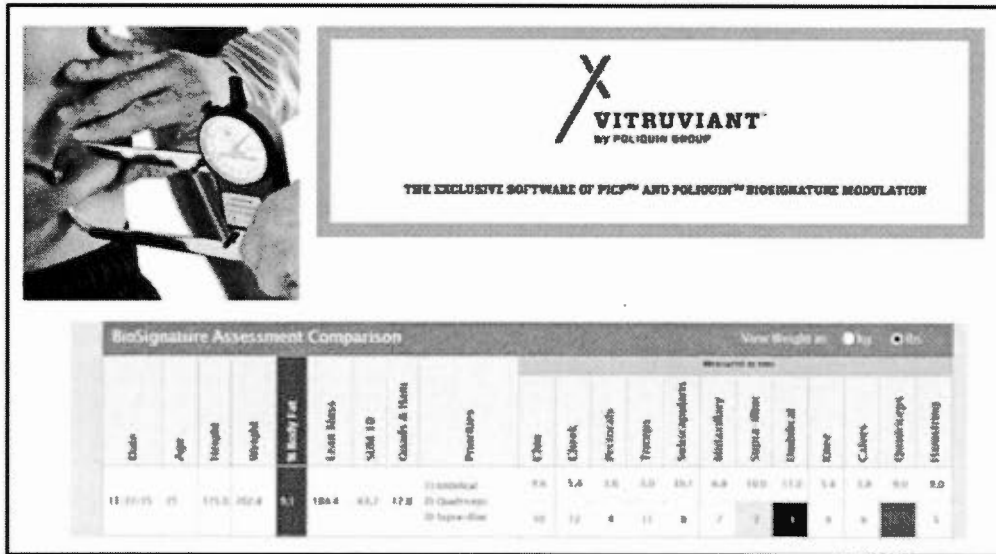


Figure 3.2 Plis cutanés - Poliquin® BioSignature Modulation
(www.vitruviant.com – photo prise en capture d'écran sur compte personnel)

3.3.3 Le saut en longueur

Le saut en longueur contribue à déterminer la puissance maximale des membres inférieurs. La validité et fiabilité en fonction de notre objectif fait en sorte que les marges d'erreur sont quasi nulles (Fernandez-Santos *et al.*, 2015). La biomécanique du saut sans élan nous permet d'employer les muscles fessiers qui sont des muscles primaires au hockey (Hay, 1985). Ce test est facile à administrer et nous donne un indice du potentiel d'accélération du joueur sur la glace (Burr *et al.*, 2008; Mascaro *et al.*, 1992). De plus, le matériel requiert seulement un ruban à mesurer installé sur le sol. Pour la procédure du saut en longueur, le participant prend place à la ligne de départ, les bras allongés et les jambes à la largeur des épaules. Lorsque le joueur est prêt, il fléchit les jambes, abaisse les bras puis tend rapidement les jambes tout en utilisant les bras pour sauter le plus loin possible. La mesure prise sera l'endroit où le

dernier talon arrière est entré en contact avec le sol. Il est important que le participant conserve sa position finale sinon le test devra être refait pour que la mesure soit précise. Le participant a effectué deux essais et le meilleur résultat a été pris en note.

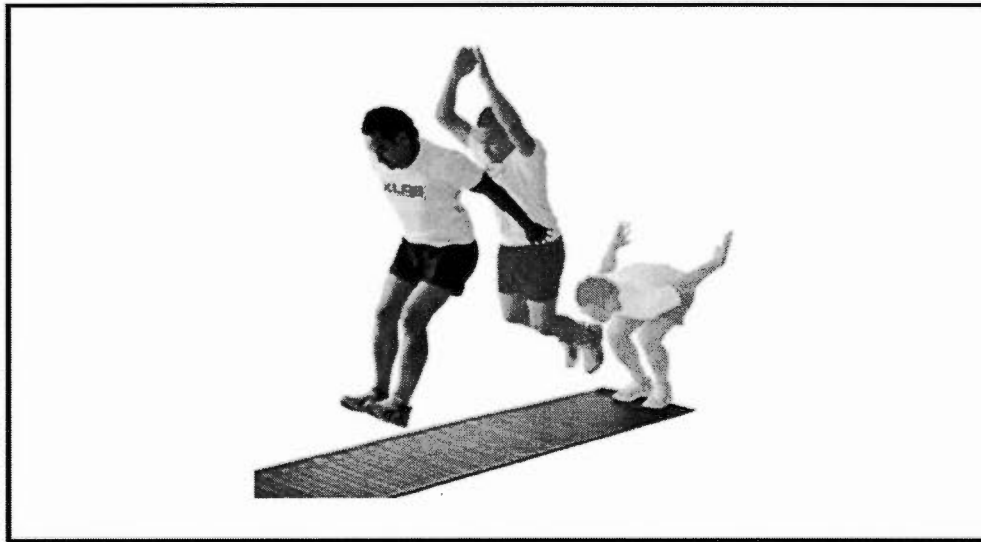


Figure 3.3 Saut en longueur
(<http://www.seriousgoalkeeping.net/FitnessTests/StandingLongJumpTest.aspx>)

3.3.4 Le saut en hauteur

Le saut en hauteur est un test très analysé par les préparateurs physiques lors du NHL Combine (Vescovi *et al.*, 2006). Il permet de déterminer la puissance des membres inférieurs. Pour notre projet, le test a été fait avec un tapis de Bosco. Ce tapis est relié par des capteurs qui mesurent le temps d'interruption de contact des pieds avec le tapis et la hauteur du saut en centimètres (Guérin, 2011; Klavora, 2000). L'exécution de ce test est très rapide et nous a indiqué l'impulsion verticale de l'athlète. Pour ce qui est de la procédure, le participant se place sur le tapis de Bosco. Lorsqu'il est prêt, il fléchit ses genoux et abaisse les bras puis saute le plus haut possible en poussant avec ses jambes dans le sol et en utilisant ses bras. Lors de l'atterrissage, le tapis de Bosco nous indique une mesure.

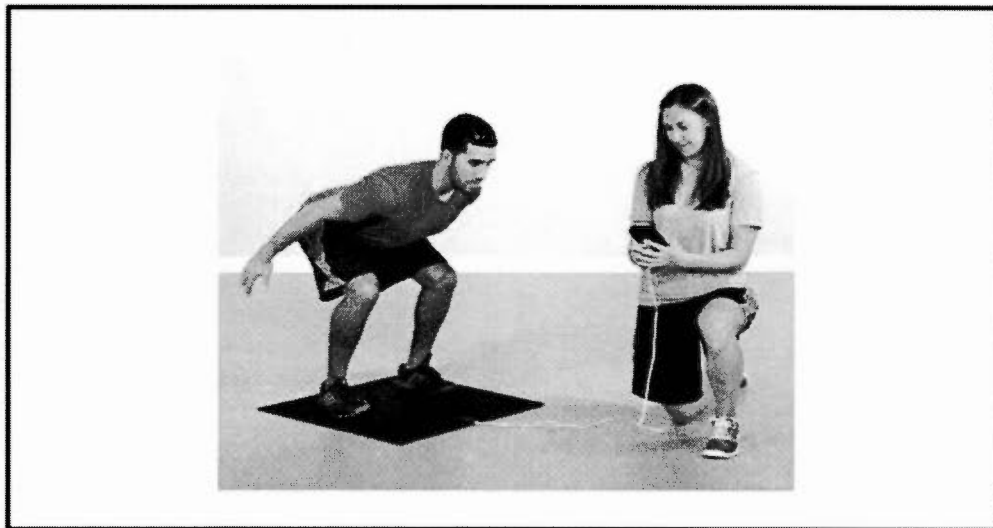


Figure 3.4 Saut en hauteur – tapis de Bosco
 (http://www.performbetter.com/webapp/wcs/stores/servlet/Product2_10151_10751_1004140_-1_1000198_1000194_1000194_ProductDisplayErrorView)

3.3.5 Les sprints répétés sur glace (9 x 40 mètres)

Comme mentionné dans l'ascension des écrits, le hockey sur glace est un sport se caractérisant par des enchaînements de mouvements rapides de courtes durées et par des périodes de repos brèves (Cox, M. *et al.*, 1995). Il est donc primordial d'évaluer l'habileté des joueurs à répéter des sprints (Bishop *et al.*, 2003). Afin de mesurer ce déterminant physique, nous nous sommes inspirés de deux tests. Le premier étant le *30-15 Intermittent Ice Test* conçu en 2010 par Martin Buchheit. Ce dernier a été innové en modifiant le test navette en continu (Leger et Boucher, 1980) par un test progressif intermittent avec des changements de direction ressemblant de près à une présence sur glace d'un joueur de hockey (Buchheit *et al.*, 2011). Ce test demande au joueur de patiner sur une distance de 40 m, aller-retour, avec une vitesse de patinage, indiquée par une bande sonore, initialement de 10,6 km/h et qui augmente de 0,63 km/h à chaque palier (Buchheit *et al.*, 2011). Le deuxième test dont nous nous

sommes inspirés est le *Skating Multistage Aerobic Test* (SMAT) qui fut développé par des chercheurs québécois (Leone *et al.*, 2007). Ce test consiste à patiner le plus rapidement possible sur une distance de 45 mètres, aller-retour. Les sujets doivent patiner durant 30 secondes continues et, par la suite, ont une période passive de 60 secondes. La procédure du *SMAT* est très similaire au *30-15 Intermittent Ice Test* et leur objectif est le même, soit de prédire le VO_2 MAX (ml/kg/min).

Pour notre projet, nous avons recréé une présence sur la glace qui ne dure normalement pas plus de 90 secondes. Le participant, à la demande de l'administrateur, se place vis-à-vis le cône de départ. Au signal de départ, il patine de l'avant le plus rapidement possible sur une distance de 40 mètres, se laisse glisser pour faire demi-tour, puis revient sur la ligne de départ. Le joueur aura 3 secondes pour se replacer sur la ligne de départ. De plus, le participant a répété ce circuit pour un total de neuf sprints de 40 mètres avec un temps de repos passif de 3 secondes. Il a tenté de franchir la distance totale le plus rapidement possible à chacun des sprints. Le participant était vêtu de son habillement habituel incluant son bâton pour recréer le mieux possible une présence sur glace. Le test s'est fait sans rondelle puisque nous ne voulions pas mesurer l'habileté du joueur, mais bien évaluer le système anaérobie.

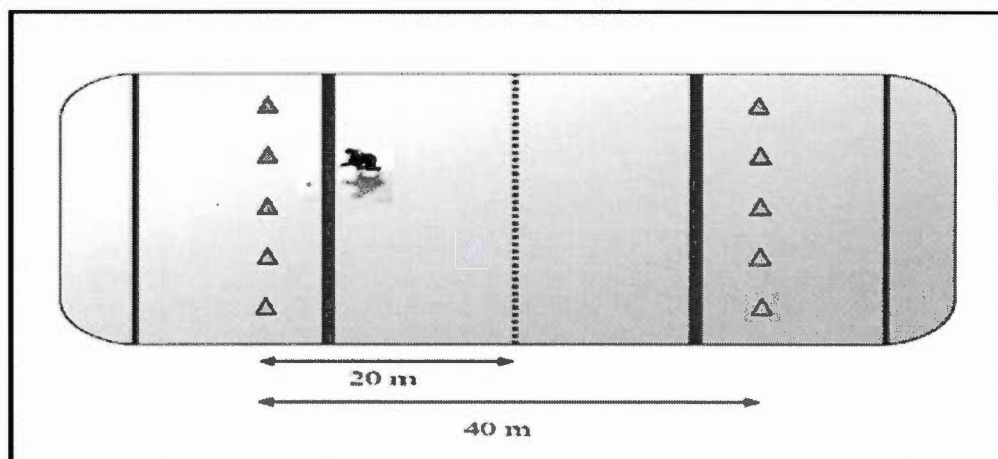


Figure 3.5 30-15 Intermittent Ice Test
(<http://g-se.com/es/evaluacion-deportiva/blog/el-30-15-ift>)

3.3.6 La prise du lactate

La prise du lactate par un analyseur de lactate (lactate scout analyzer) s'est fait de 3 à 5 minutes après avoir complété le test sur glace de sprints répétés. Le lecteur de lactate et les procédures s'y rapportant sont aussi simples et quasi identiques à un lecteur de glucose sanguin (Foxdal *et al.*, 1994).

De plus, nous avons comparé les résultats de l'étude effectuée sur des joueurs NCAA Division 1- Hockey (Noonan, 2010). Cette étude a démontré que les joueurs effectuant des présences répétées sur glace durant entre 29 et 102 secondes affichaient un taux de lactate de 4,4 à 13,7 mmol·L à la fin de la première période. Tandis que des valeurs entre 10,7 mmol·L à 11,5 mmol·L (Watson et Sargeant, 1986) avaient été démontrées lors de six répétitions du test Repeat Sprint Skate (RSS) (Reed *et al.*, 1979). Les valeurs atteintes de nos participants avec le test de sprints répétés nous a permis de connaître la capacité de travail anaérobie de chacun et leur capacité de récupération.

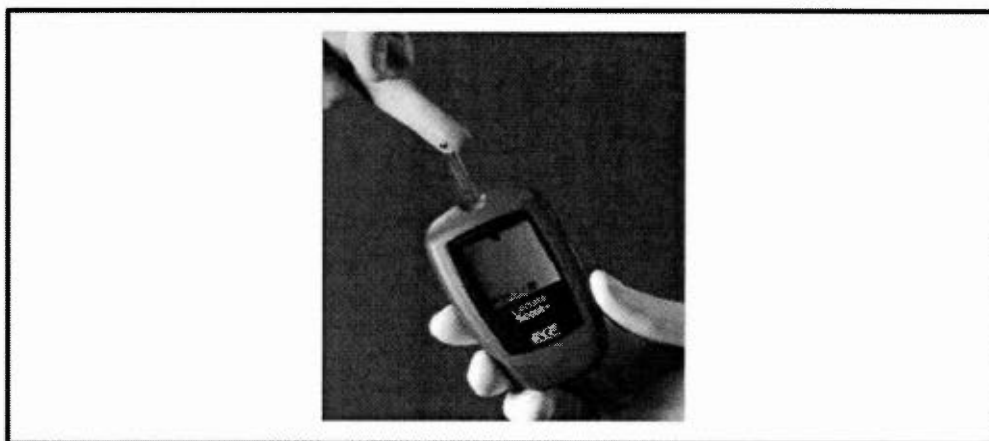


Figure 3.6 Analyseur de lactate
(http://www.buildingbetterhealthcare.co.uk/news/article_page/EKF_Launches_POC_lactate_analyser_with_hematocrit_compensation/93416)

3.3.7 Le capteur d'oxygénation

Cet appareil (Moxy) portatif permet de mesurer en temps réel l'oxygénation du muscle. Les données ont été recueillies durant les sprints répétés sur glace. Cette mesure de la quantité d'hémoglobine permettant de transporter l'oxygène dans les capillaires du muscle est exprimée en pourcentage et abrégée en SmO₂. Celle-ci est mesurée à partir d'une lumière infrarouge qui contribue à mesurer la saturation en oxygène local. Auparavant, l'oxymètre mesurant la concentration d'oxygène moléculaire aurait été un bon outil d'évaluation surtout avec sa fiabilité (Berry et Seitz, 2012). Par contre, la nouvelle technologie du Moxy nous permet de connaître la saturation locale d'oxygène et, pour notre projet, les données sont plus intéressantes.

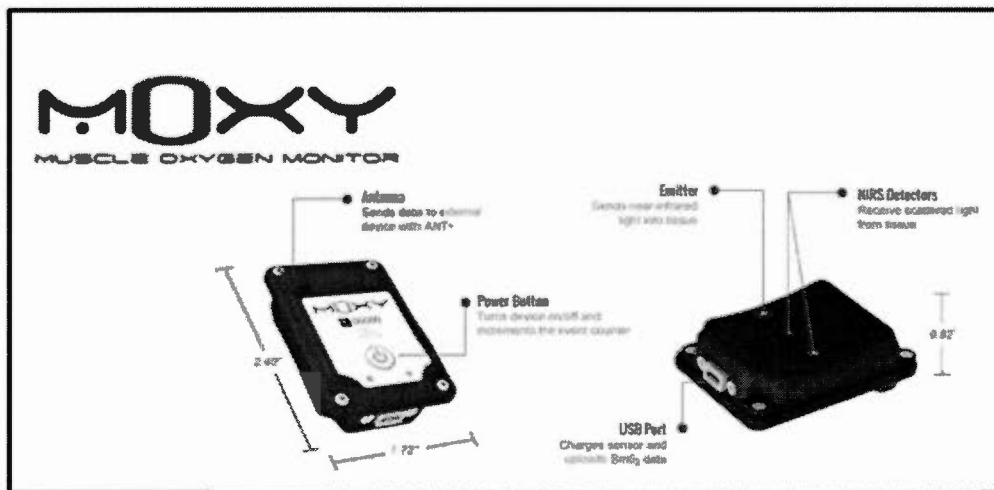


Figure 3.7 Moniteur de saturation d'oxygène
(<http://www.moxymonitor.com/device/>)

3.3.8 Le "timing gate laser sensor"

Lors de notre projet, nous avons utilisé le "timing gate" lors de notre test de 9 x 40 mètres sprints sur glace. D'après la littérature, la fiabilité de ces outils ne fait aucun doute sur la qualité de nos résultats (Waldron *et al.*, 2011). Ces capteurs étaient placés au départ et à la fin du test soit à 0 et 40 mètres. L'utilisation de cellules photoélectriques lors du test sur glace indiquait le temps exact que le joueur a pris pour exécuter le sprint de 40 mètres. Nous avons par la suite comparé la différence des sprints par leur vitesse d'exécution avec la fiabilité de ces capteurs. De plus, nous avons utilisé une caméra vidéo durant le test sur glace. En filmant, nous avons pu revoir les séquences des joueurs, 120 images par seconde, et nous avons pu calculer le nombre de coups de patin que chaque joueur a effectué à chaque 40 mètres. De plus, nous avons aussi obtenu avec cette méthode le temps écoulé et connu la vitesse moyenne à laquelle le joueur effectue les sprints.

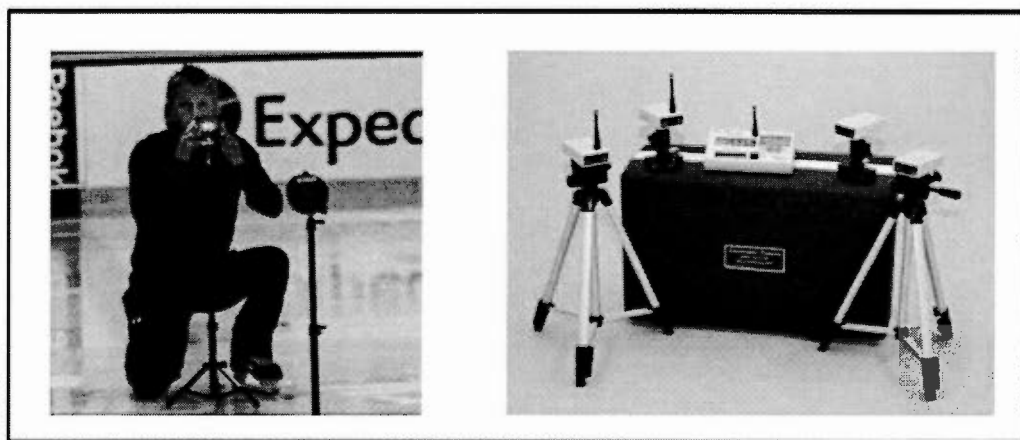


Figure 3.8 Appareils de mesure de temps
(<http://www.cantechletter.com/2015/03/sport-testing-inc-poised-for-growth-developing-sat-sports/>)

3.3.9 La perception de l'effort

L'échelle de Borg, qui a été pris à la fin du test sur glace est utilisée depuis plus d'un demi-siècle pour aider à interpréter les signes cliniques des douleurs musculo-squelettiques (voir Appendice C). D'autre part, cette échelle numérotée de 0 à 20 nous permet de quantifier l'interprétation que perçoit l'athlète durant les efforts à haute intensité (Setruk *et al.*, 1995). Celle-ci occupe une place importante puisqu'elle nous donne une information complémentaire selon l'intensité de l'exercice. De plus, elle nous a permis d'établir une corrélation entre les différents paramètres tels que la fréquence maximale atteinte, la consommation d'oxygène et le lactate. La procédure de ce questionnaire est assez simple, les participants ont mentionné au dirigeant le nombre qui représentait le mieux leur niveau de fatigue, selon leur perception.

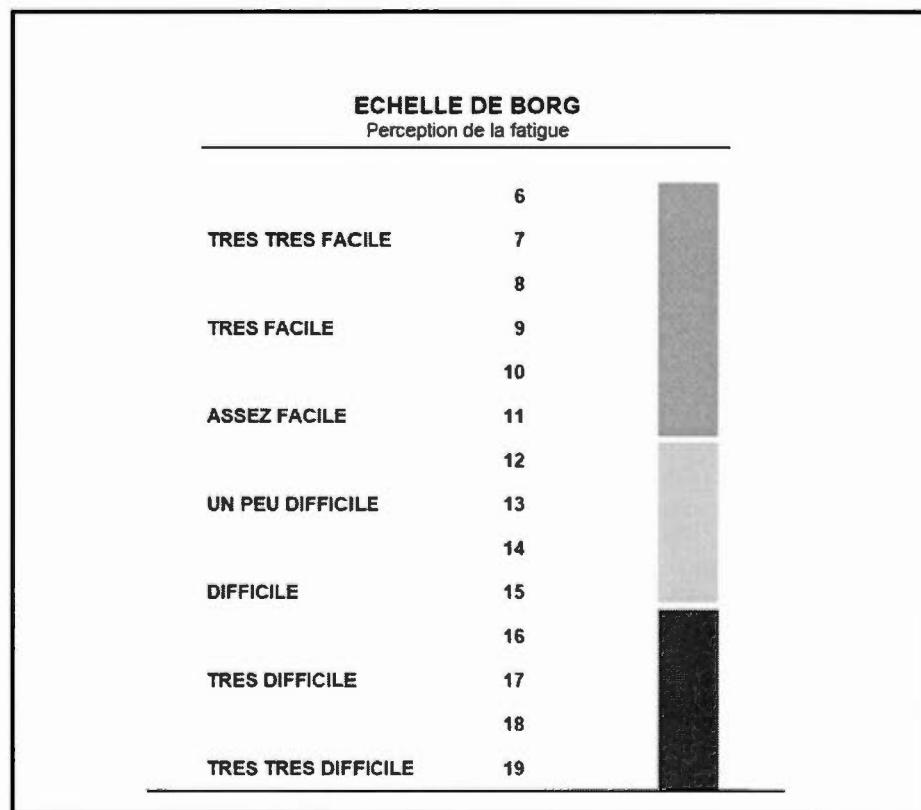


Figure 3.9 Échelle de Borg
(<https://www.scribd.com/doc/226838765/Echelle-de-Borg>)

3.4 Procédures expérimentales

3.4.1 Conditions de mesure

Les groupes expérimentaux se sont différenciés des groupes témoins par le fait qu'ils ont exécuté, 6 heures avant les tests physiques, un entraînement de style contraste. Tous les entraînements ont eu lieu au Centre de performance Axxeleration et dans la salle de musculation des Screaming Eagles du Cape Breton. Une personne externe était responsable de remplir les résultats des tests physiques pour les groupes témoins, et de la prise en charge de l'entraînement chez les groupes expérimentaux pour éviter les conflits d'intérêts.

3.4.1.1 Entraînement contraste

La séance d'entraînement était composée de 5 séries de 5 répétitions "Inertia back squat" à 80-90 % 5-RM avec un tempo lent de 4-2-X-1. Au départ en position verticale, le premier chiffre du tempo fait référence à la phase excentrique 4 s; le deuxième correspond au temps mort de 2 s avec les genoux fléchis à 90° et avec la barre déposée sur les barreaux de sécurité pour enlever complètement l'inertie; le troisième chiffre d'une durée libre X correspond à la phase concentrique pour revenir en position verticale; le quatrième chiffre, correspond à la phase isométrique en position verticale avant de reprendre les quatre autres répétitions de la série. Un repos de 15 s est alloué entre l'« Inertia back squat" et les sauts pliométriques avant de prendre un repos de 180 s entre chaque série pour un total de 5 séries. D'autre part, pour accélérer le processus, il n'y a eu aucune séance concentrée sur la détermination du 1 RM des sujets. Des séries de réchauffement supplémentaires furent effectuées pour trouver le poids le plus près possible entre 80 % à 90 % de leurs 5 RM. Bref, le poids choisi par l'athlète a été exécuté pour 6 répétitions, mais celui-ci n'a fait que 5

répétitions. L'activation avant cet entraînement et l'entraînement se retrouvent dans la section des appendices à la fin du mémoire (Appendice D).

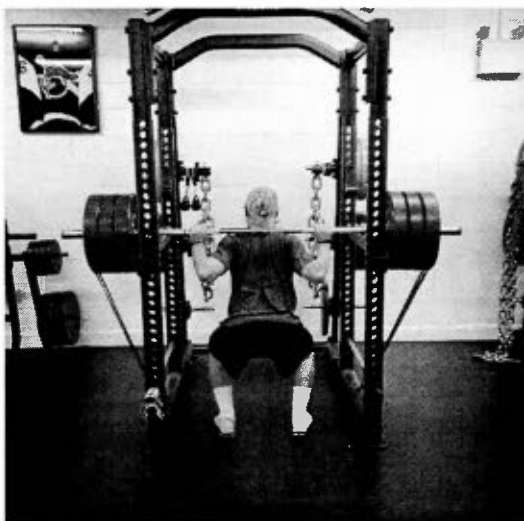


Figure 3.10 Début du mouvement
Inertia back squat

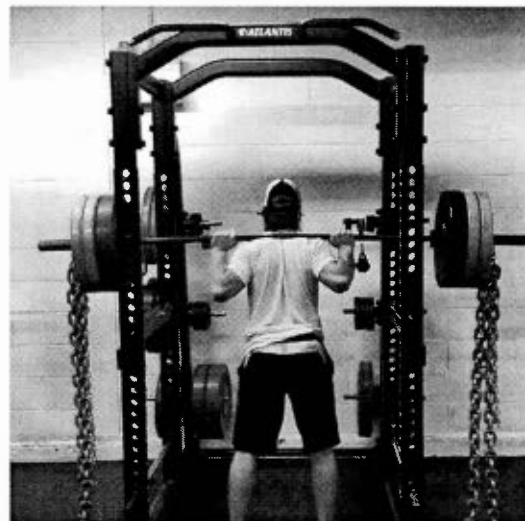


Figure 3.11 Fin du mouvement
Inertia back squat

3.4.2 Procédures et déroulement du projet

En raison de la disponibilité des sujets, la collecte des données s'est faite à différents moments de la saison. La première expérimentation débutait au début du mois de février. Tous les athlètes disponibles ont entamé le protocole du projet. Par la suite, un autre groupe a commencé à la fin du mois de février 2017. La division des groupes a été causée par la localisation des joueurs. Le premier groupe qui a commencé au début février était constitué des joueurs de niveau Midget AAA des Grenadiers de Châteauguay et plus tard dans le mois, des joueurs de la LHJMQ des Screaming Eagles du Cape Breton. La durée du projet a été de 3 jours. La première séance était consacrée aux rencontres pour l'explication des tests physiques et de l'entraînement en salle de musculation. De plus, les tests physiques mentionnés plus haut ont été réalisés (pré-tests). Par ailleurs, la deuxième séance était attribuée à la collecte de

données et à la compilation des résultats avec les groupes témoins et les groupes expérimentaux, qui eux ont exécuté un entraînement de style contraste six heures avant les tests physiques sur glace (post-tests). Les séances dans la salle de musculation étaient d'une durée de 45 minutes incluant les réchauffements spécifiques et l'activation.

3.4.3 Déroulement des tests

Des pré-tests ont été administrés à la première rencontre du projet de recherche (semaine 0). L'objectif était de compiler les résultats des participants avant de commencer l'expérimentation pour déterminer nos groupes. Les tests ont été en partie effectués à l'aréna du Centre Multisport de Châteauguay et tous les tests avaient lieu la même journée pour les deux groupes. Dès l'arrivée des participants pour l'expérimentation, nous avons pris les mesures anthropométriques telles que le poids, la grandeur et leur pourcentage de gras. Pour la prise des mesures anthropométriques, nous avons procédé de la façon suivante. D'abord nous avons pris la taille du sujet à l'aide d'un ruban à mesurer installé sur le mur. Le sujet ne devait pas porter de chaussures, il se tenait droit, les bras le long du corps, les pieds joints, les talons et le dos en contact avec le mur. Ensuite, l'évaluateur a pris la mesure en appuyant avec une règle sur la tête du sujet. La deuxième étape était la prise de poids sur un pèse-personne. Le sujet déchaussé était vêtu de linge de sports. Il montait sur la balance qui indiquait son poids en kilogramme. Pour terminer, il y a eu prise des 12 plis cutanés selon la méthode de Charles Poliquin, avec la pince d'Harpenden. Les sites sélectionnés sont les suivants : (1) menton, (2) joue, (3) triceps, (4) sous-scapulaire, (5) mi-axillaire, (6) supra-iliaque, (7) ombilical, (8) pectoral, (9) mollet, (10) genou, (11) quadriceps et (12) ischio-jambiers. Chaque résultat a été compilé dans le logiciel de BioSignature qui nous a permis d'obtenir le pourcentage de gras de chaque sujet.

Par la suite, après avoir effectué une activation, nous avons effectué le saut en longueur et le saut en hauteur. Pour ces tests, les participants ont obtenus deux essais et le meilleur résultat a été retenu. Ensuite, les joueurs ont eu un laps de temps de 15 minutes pour revêtir leurs équipements et se rendre sur la glace pour effectuer le test de sprints répétés. Pour ce test, les participants se sont fait installer un capteur d'oxygénation sur le membre inférieur, le quadriceps droit. Pour ce test d'habileté de sprint répété, il consistait à faire répéter aux joueurs neuf sprints consécutifs sur une distance de 40 mètres entrecoupés de 3 secondes de récupération qui a permis aux joueurs de revenir à la ligne de départ. Après avoir complété le test anaérobie de 90 s, nous avons pris la lecture de sa fréquence cardiaque dès que le sujet se rendait au banc et simultanément à la troisième minute nous avons pris la lecture du lactate sur l'index du participant à la fin du test sur glace. Nous avons répété ces étapes avec chaque participant. De plus, lorsque le joueur terminait le test, il nous indiquerait à l'aide de l'échelle de Borg sa perception de l'effort et pouvait quitter les lieux par la suite.

Lors de la deuxième séance, les participants ont été divisés en deux groupes. Le groupe expérimental s'est présenté six heures avant le test physique sur glace pour réaliser l'entraînement de style contraste. L'activation et l'entraînement se retrouvent dans la section annexe du mémoire (Appendice E). En fin d'après-midi, les deux groupes se sont retrouvés pour refaire les tests du saut en longueur, du saut en hauteur, le test de sprints répétés sur glace. Seules les mesures anthropométriques n'ont pas été reprises puisqu'il était surprenant que la taille, le poids et leur composition corporelle aient été changés radicalement en moins de 72 heures. De plus, ces données prises à la première séance ont été principalement utilisées pour effectuer des corrélations entre les résultats avec leur pourcentage de gras et leur force relative quant à leur performance. Les résultats ont été compilés et analysés avant d'être envoyés aux entraîneurs de chaque équipe ayant participé au projet (voir Appendices F et G).

3.5 Devis, analyses et statistiques

Les données sont présentées sous la forme de moyenne (Moy) et écart-type (É.T.). Le plan expérimental est formé de deux groupes, groupe expérimental et groupe témoin, avec des mesures pré et post intervention. L'analyse statistique des mesures anthropométriques a été comparée par le test t pour échantillons indépendants. Alors que les différences entre les groupes témoins et expérimentaux ont été effectuées à l'aide d'une ANOVA à mesure répétée à trois facteurs (groupe X temps). S'il y a avait eu une différence détectée, il y aurait eu une analyse Post Hoc Test à l'aide du test de comparaisons appariées. Une différence significative entre les mesures pré et post intervention a été retenue, lorsque $p < 0,05$. Les données seront analysées avec le logiciel SPSS, version 21.

3.6 Limites du projet

Dans notre problématique à la section 1.3, nous avons décrit les limites du projet ou du niveau des sujets. Dans cette partie, nous décrivons les limites au niveau de la méthodologie. Dans un premier temps, nous n'avons pas préparé une séance pour déterminer leur 1 RM sur le back squat lors du premier entraînement. Nous avons plutôt fait des réchauffements pour atteindre un poids que les participants ont pu exécuter pour 5 répétitions et que ce poids utilisé était d'environ 80 % de leur maximum. L'intensité (80% RM) choisie était donc approximative, ce qui a maximisé notre temps dans l'exécution de la collecte de donnée.

D'une autre part, lors du test sur glace anaérobie (9 x 40 mètres) qui constitue une estimation d'une présence sur glace lors d'une partie de hockey, ceci ne nous a pas permis de conclure que ce type d'entraînement pouvait augmenter les performances

lors d'une partie complète puisque nous représentons seulement une présence réelle d'un joueur de hockey.

CHAPITRE IV

RÉSULTATS

4.1 Résultats

Les données sont présentées dans des tableaux de compilation de catégories mixtes. Dans chacun de ceux-ci, les données sont présentées en incluant les participants de chaque groupe (expérimental et témoin). Au cours de la première collecte de données (février 2017 - Grenadiers Midget AAA), quatre participants n'ont pas pu participer à ce projet, trois d'entre eux pour des raisons de blessures causées lors d'une partie de hockey et l'autre pour avoir oublié son équipement à la maison. Pour ce qui est de la deuxième collecte de données avec les Screaming Eagles du Cape Breton, deux participants n'ont pas participé au projet pour des raisons de blessures et pour ne pas avoir signé le formulaire de consentement.

4.1.1 Mesures anthropométriques

Les caractéristiques anthropométriques des participants sont présentées dans le tableau 4.1. On peut noter qu'il y a des différences entre les moyennes des résultats des participants des deux groupes, soit expérimental (E) et témoin (T). En fait, on note un changement au niveau de leur expérience dans l'entraînement en résistance ($p < 0,026$), de la grandeur ($p < 0,020$) et de la composition corporelle ($p < 0,009$) d'un groupe à l'autre malgré le fait que leur masse maigre est quasi identique.

Tableau 4.1 Caractéristiques anthropométriques des participants

Variables	Gr E (=21)	Gr T (=20)
Âge (ans)	16.8 (1.3)	16,4 (1.7)
Poids (Kg)	75.3 (8.6)	77.1 (7.3) *
Grandeur (cm)	177.3 (6.1)	181.6 (5.3) *
Gras (%)	11.1 (1.7)	13.4 (3.4)
Masse maigre (Kg)	66.2 (6.8)	66.2 (6.4)
Expérience Gym (ans)	3.4 (1.6)	2.3 (1.2) *

*Moyenne (É.T.) ; * p<0,05*

4.1.2 Caractéristiques des sauts des participants

Les résultats pour les sauts des participants sont présentés dans le tableau 4.2 et les figures 4.1 et 4.2. Il est important de mentionner une fois de plus que les groupes (expérimental et témoin) ont été formés selon la performance des sauts lors des pré-tests. Il n'est donc pas surprenant que la différence pré-intervention soit significative inter-sujet ($p=,001$) pour les deux sauts.

Par contre, après l'intervention, il n'y a aucune différence significative pour le saut en longueur ($p=,101$) et le saut vertical entre les deux groupes ($p=,270$).

Tableau 4.2 Résultats du saut en longueur et saut vertical des participants combinés pré et post intervention.

Variables	Gr E (=21)	Gr T (=20)	Gr E (=21)	Gr T (=20)
	<i>Pré</i>	<i>Pré</i>	<i>Post</i>	<i>Post</i>
Saut en longueur (cm)	254.2 (17.4)†	230.5 (9.7)	266.3 (19.4)	237.4 (9.7)
Saut vertical (cm)	69.6 (2.7)†	58.1 (1.9)	69.9 (2.3)	59.2 (1.9)

Moyenne (É.T.) ; Aucune différence significative entre pré et post ; † Différence significative entre les groupes.

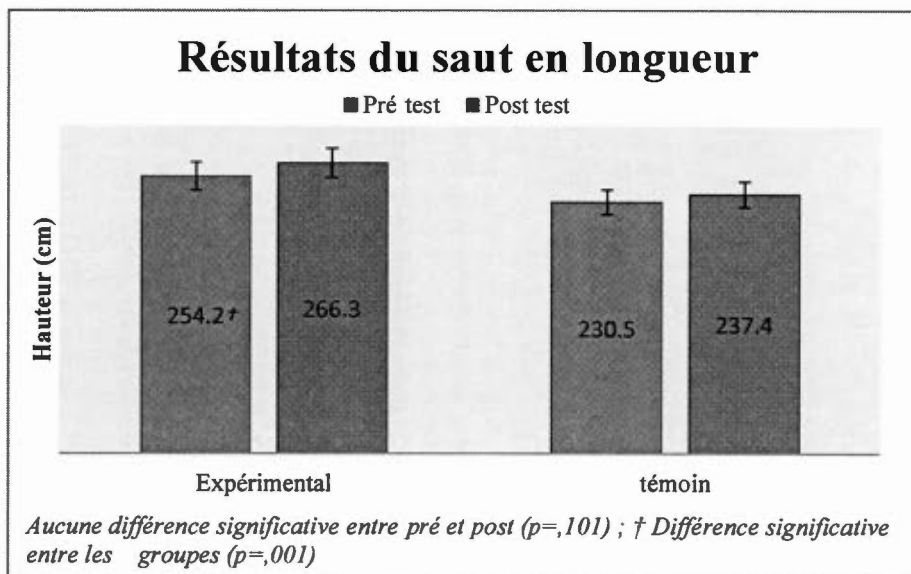


Figure 4.1 Résultats du saut en longueur des participants pré et post intervention.

La figure 4.1 présente les résultats pré et post intervention du saut en longueur des deux groupes. Pour l'ensemble de ces données, il n'y a eu aucune amélioration significative du saut en longueur chez le groupe expérimental ayant exécuté un entraînement six heures plus tôt et comme prévu, aucune amélioration chez le groupe témoin.

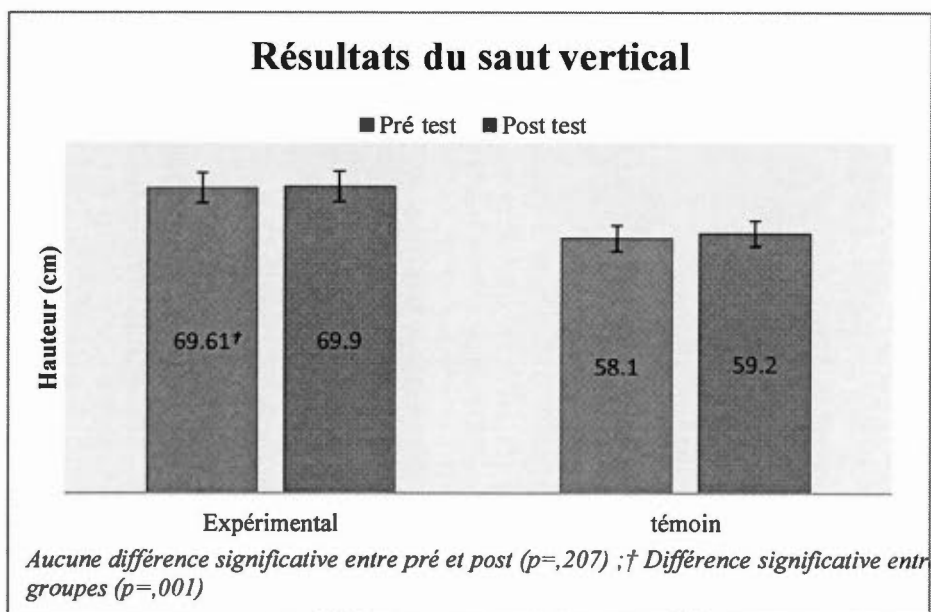


Figure 4.2 Résultats du saut vertical des participants pré et post intervention.

La figure 4.2 présente les résultats pré et post intervention du saut vertical des deux groupes. Pour l'ensemble de ces données, il n'y a eu aucune amélioration significative du saut en hauteur chez le groupe expérimental ayant exécuté un entraînement six heures plus tôt et comme prévu, aucune amélioration chez le groupe témoin.

4.1.3 Caractéristiques des sprints répétés chez les participants pré et post intervention

Les résultats pour le test de sprint répétés sur glace sont présentés dans le tableau 4.3. La capacité à répéter 9 sprints de 40 m avec un temps de repos actif de 3 secondes entre chaque sprint demande une capacité élevée de récupération intra-effort.

Plusieurs formules ont été utilisées pour analyser la performance des sprints répétés. Chacune de ces formules est décrite dans la section appendice du mémoire (Appendice H). La première est l'indice de fatigue et est généralement utilisée pour déterminer l'épuisement de l'athlète. Plus l'athlète obtient un indice de fatigue élevé, plus il sera nécessaire de travailler son endurance à répéter des sprints sur glace. La deuxième est une formule qui nous permet de calculer le pourcentage de diminution de la fatigue. Cependant, ces deux formules ont été démontrées comme n'étant pas des mesures fiables (Oliver, 2009). De plus, nous avons utilisé une autre formule qui nous permet de mesurer le sprint idéal de l'athlète si celui-ci était en mesure de répéter le meilleur de ses neuf sprints à chaque sprint.

Tableau 4.3 Résultats du test sur glace 9 x 40 mètres chez les participants pré et post intervention

Variables	Gr E (=21)	Gr E (=21)	Gr T (=20)	Gr T (=20)	Δ Temps (s)	
	<i>Pré-tests</i>	<i>Post-tests</i>	<i>Pré-tests</i>	<i>Post-tests</i>	Gr E	Gr T
Sprint 1 (s)	5.51 (0.5)	5.13 (0.4)*†	5.86 (0.6)	5.76 (0.6)	0.38	0.10
Sprint 2 (s)	5.53 (0.5)	5.20 (0.4)*†	5.93 (0.6)	5.64 (0.6)	0.33	0.29
Sprint 3 (s)	5.71 (0.5)	5.49 (0.5)*†	6.09 (0.6)	5.96 (0.6)	0.22	0.13
Sprint 4 (s)	6.04 (0.6)	5.69 (0.4)*†	6.35 (0.7)	6.11 (0.7)	0.35	0.24
Sprint 5 (s)	6.29 (0.6)	6.05 (0.5)*†	6.51 (0.7)	6.50 (0.8)	0.24	0.01
Sprint 6 (s)	6.59 (0.6)	6.21 (0.5)*†	6.76 (0.6)	6.63 (0.8)	0.38	0.13
Sprint 7 (s)	6.83 (0.8)	6.46 (0.5)*†	6.84 (0.5)	6.88 (1.0)	0.39	0.04
Sprint 8 (s)	6.89 (0.6)	6.44 (0.5)*†	6.97 (0.5)	6.90 (0.9)	0.45	0.07
Sprint 9 (s)	6.83 (0.7)	6.40 (0.6)*†	6.89 (0.7)	6.83 (0.9)	0.43	0.06
Total 9 sprint(s)	56.23 (4.7)	53.08 (3.8)*†	58.03 (5.4)	57.21 (6.4)	3.15	0.82
Sprint idéal (s)	48.53 (4.4)	45.70 (3.5)	51.75 (5.6)	49.99 (5.1)	2.83	1.76
Indice de fatigue (%)	23.50 (7.4)	25.06 (11.5)	19.98 (7.4)	18.72 (10.8)	1.56	1.26
Décroissement (%)	16.07 (6.2)	16.34 (6.1)	12.61 (4.9)	14.48 (5.5)	0.27	1.87

*Moyenne (É.T.) *Différence significative entre pré et post, $p < 0,05$. † Différence significative entre les groupes*

ΔTemps (s), écart entre les sprints pré et post intervention.

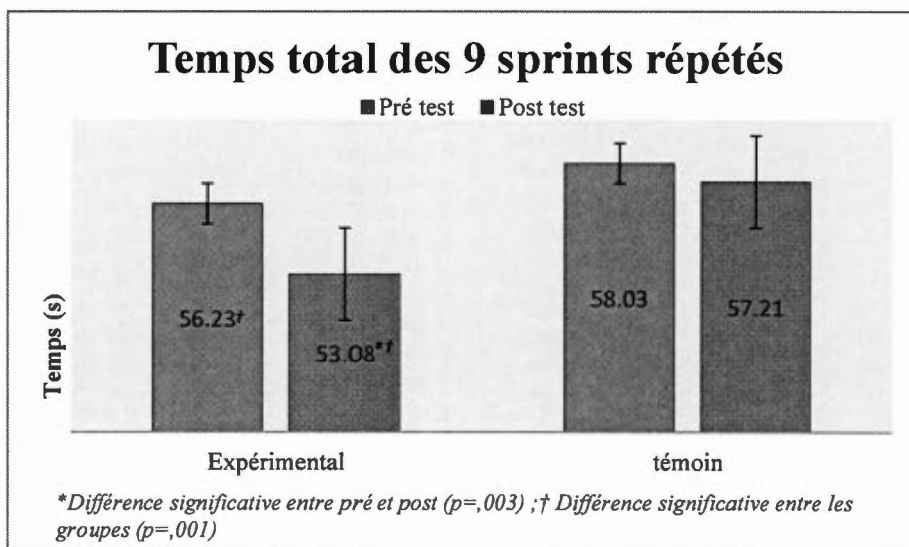


Figure 4.3 Temps total des neuf sprints répétés sur glace chez les participants pré et post intervention

La figure 4.3 présente les résultats pré et post intervention du temps total des neuf sprints répétés sur glace des deux groupes. Pour l'ensemble de ces données, il y a eu une amélioration significative ($p=,003$) de la performance des sprints chez le groupe expérimental ayant exécuté un entraînement six heures plus tôt et comme prévu, aucune amélioration chez le groupe témoin.

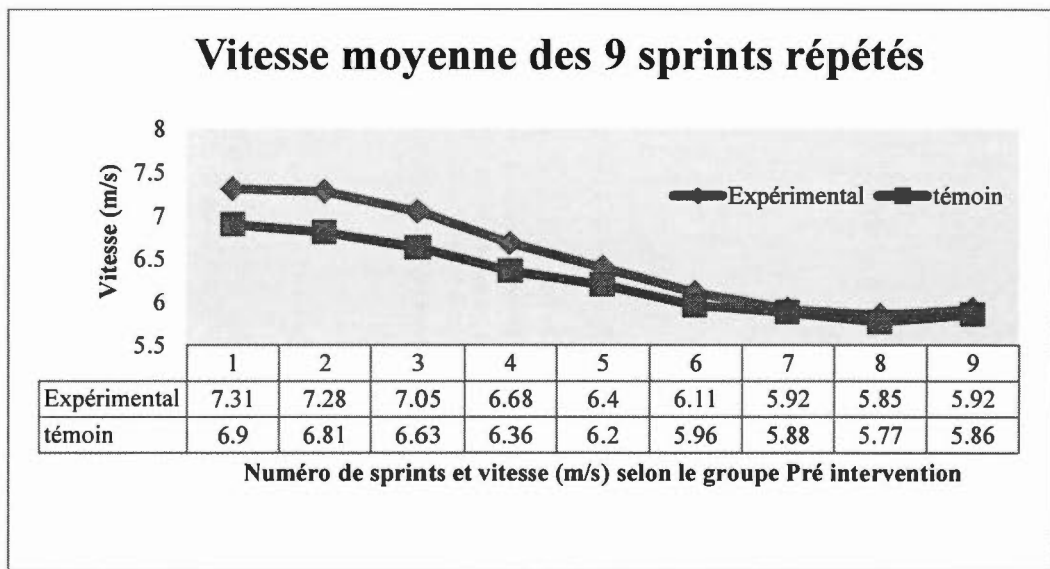


Figure 4.4 Vitesse moyenne des neuf sprints répétés sur glace chez les participants pré intervention

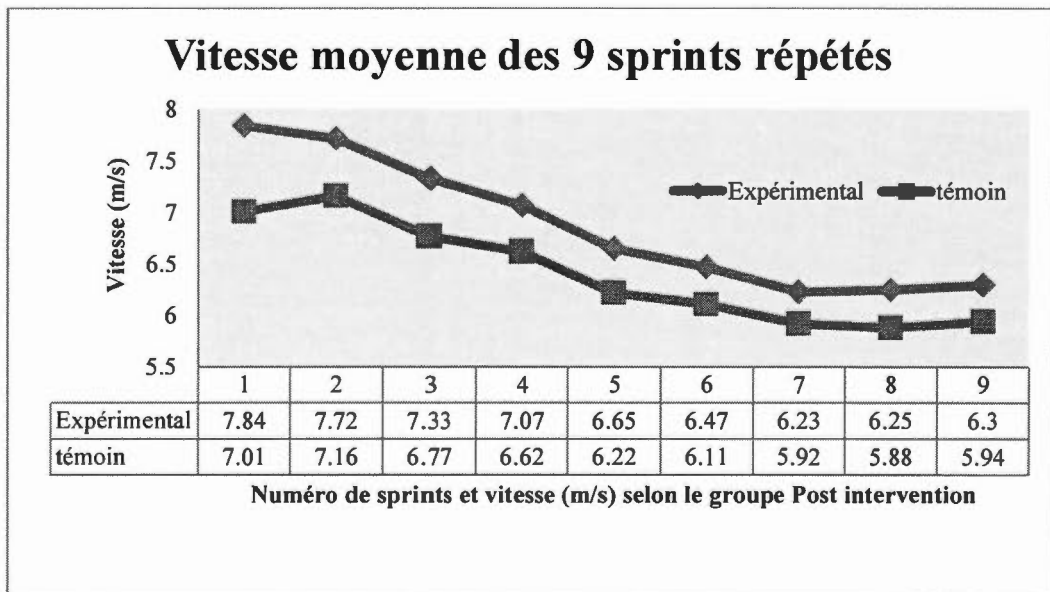


Figure 4.5 Vitesse moyenne des neuf sprints répétés sur glace chez les participants post intervention

Les figures 4.4 et 4.5 présentent, respectivement, les résultats pré et post intervention de la vitesse (m/s) moyenne des neuf sprints répétés sur glace des deux groupes. Pour l'ensemble de ces données après l'intervention, il y a une différence significative ($p=,007$) inter-sujet entre chacun des sprints indiquant une amélioration de la vitesse des sprints pour le groupe expérimental.

4.1.4 Caractéristiques physiologiques des participants pré et post intervention

Tableau 4.4 Résultats des données physiologiques du test sur glace 9 x 40 mètres chez les participants

Variables	Gr E (=11)	Gr E (=11)	Gr T (=11)	Gr T (=11)
	Pré-tests	Post-tests	Pré-tests	Post-tests
FC (0mins)	158 (14.5)	156 (13.1)	158 (18.9)	157 (19.1)
FC (3mins)	111 (10.1)	113 (10.3)	111 (10.8)	107 (18.7)
Lactate (mmol)	13.0 (4.3)	11.1 (2.6)	12.4 (4.4)	11.7 (3.2)

Moyenne (É.T.). Aucune différence significative entre les groupes et par rapport au temps (pré vs post).

On peut noter que l'ensemble des variables sont demeurées constantes et qu'aucune différence significative n'a été observée entre les groupes.

La mesure de l'oxygénation musculaire locale ne s'est pas révélée d'intérêt. Donc, les résultats obtenus avec le capteur d'oxygénation (Moxy) n'ont pas été retenus dans l'analyse de nos résultats (*Moyenne Gr E pré et post intervention, respectivement, THB ; 12.74 à 13.21 et SM02 ; 75.19 à 76.24*).

La perception de l'effort avec l'échelle de Borg (6 à 20) entre les groupes et par rapport au temps (pré vs post) n'a pas démontré de différence significative (*Gr E=13.2 à 13.7 ; Gr T 13.7 à 14.1, respectivement*).

4.1.5 Résultats des corrélations entre le groupe expérimental et témoin

Au début du mémoire, nous avons émis une hypothèse additionnelle sur le fait que les années d'entraînement des sujets auraient un impact positif sur leurs résultats. Il y a eu une différence significative et une corrélation positive entre les années d'entraînement en résistance et le ratio de force relative ($r=,392$; $p=,011$) ainsi que le calibre du joueur (niveau) durant la période de ce projet ($r=,472$; $p=,002$).

CHAPITRE V

DISCUSSION

Rappelons que la question de recherche et l'objectif qui a suscité la présente étude étaient d'évaluer les effets d'un entraînement de style contraste utilisant la potentialisation par post-activation et de déterminer la durée des effets positifs si l'entraînement était exécuté six heures avant les tests physiques. De plus, aucun des sujets choisis pour ce projet ne s'adonnait à des entraînements de style PAP par contraste le jour même de leur compétition.

Le principal constat de la présente étude est qu'un entraînement avec la méthode contraste six heures avant d'exécuter des sprints répétés sur glace, améliore la vitesse moyenne des sprints sur 40 mètres ainsi que le temps total (la somme de temps) d'exécution des sprints. De plus, comme indiqué au Tableau 4 et par la perception de l'effort des participants, tous semblent avoir fournis le même effort (aucune différence significative entre les deux groupes, pré et post intervention, pour la FC, [La⁻] et le score sur l'échelle de Borg). Donc, les résultats observés sur l'amélioration de la vitesse des sprints semblent relier à l'approche PAP et non à des différences de motivation ou d'intensité d'exécution des épreuves pré et post intervention.

5.1 Les mesures anthropométriques sur la performance

La composition corporelle du joueur de hockey est l'une des plus importantes données anthropométriques en lien avec la performance de l'athlète (Potteiger *et al.*, 2010). Un excès de masse adipeuse diminue la capacité fonctionnelle et les

performances sportives (McLeod *et al.*, 1983). Il n'est donc pas surprenant que, lors de cette étude, la majorité de nos sujets ayant un pourcentage moins élevé de masse adipeuse se retrouve dans le groupe expérimental. De plus, avec leur composition corporelle, nous sommes en mesure d'établir une approximation de leur masse musculaire. Ce poids idéal, qui comprend la quantité minimale de masse adipeuse avec le ratio de la masse musculaire de l'athlète, est un déterminant important dans la performance d'un joueur au hockey sur glace. D'autre part, quelques études ont démontré que la force relative (ratio de la charge soulevée/poids corporel) de l'athlète, serait un prédicteur pour utiliser efficacement une méthode qui augmenterait la potentialisation par post-activation. Les athlètes auraient de meilleurs résultats en utilisant ce type d'entraînement comparativement à ceux ayant un ratio de force relative plus faible (Harrison, 2011; Hrysonmallis et Kidgell, 2001). Concernant notre étude, le groupe expérimental ayant un pourcentage de gras moins élevé posséderait déjà un avantage lors du calcul de la force relative. Lors de l'entraînement effectué six heures avant les tests physiques, nous avons estimé la moyenne de la charge maximale soulevée (1RM) des participants du groupe expérimental. Celle-ci est de $333,5 \pm 58.9$ kg et la force relative est de 1.78 (résultats Appendice G). Le lien entre la littérature et notre étude, par rapport à la force relative de l'athlète, en lien avec les chances de réussite de l'utilisation d'un entraînement pouvant augmenter la potentialisation, est donc intéressante.

5.2 L'entraînement de style contraste sur la performance

L'entraînement contraste semble être la méthode d'entraînement la plus efficace puisqu'elle combine deux méthodes d'entraînements, soit la pliométrie et l'entraînement en résistance. Cette méthode implique un exercice de force maximale avec un exercice d'explosion et de puissance et serait donc plus efficace pour

augmenter la potentialisation par post-activation (Maio Alves *et al.*, 2010). Des études plus spécifiques illustrent les bienfaits d'un entraînement en résistance le matin d'une compétition, soit six heures avant celui-ci, et pourraient entraîner une augmentation de la performance (Cook *et al.*, 2014). De plus, lorsque l'on exécute un exercice avec une charge lourde, soit au-dessus de 80 % du 1RM, cela engendre une potentialisation 6 à 7 heures plus tard et ses effets pourraient durer jusqu'à 24 heures (Bompa et Buzzichelli, 2015). À ce jour dans la littérature scientifique relatée au chapitre 2, les théories et les méthodes utilisées pour expliquer l'augmentation de la potentialisation par post-activation ont démontré autant des effets nuls que positifs sur la performance, et les effets sont souvent de courte durée, soit entre 5 et 30 minutes (Chiu *et al.*, 2003). Cependant, nous démontrons dans ce mémoire que l'entraînement de type contraste peut aider à augmenter la performance lors des sprints répétés chez un joueur de hockey. Toutefois, nous n'avons pas mesuré la durée de temps que ce phénomène demeurerait en place, c'est-à-dire, pour toute la durée d'un match ou seulement les quelques premières minutes de la première période. Néanmoins, notre observation se traduit par une amélioration de la vitesse de patinage lorsque l'entraînement est exécuté six heures avant. Nous présumons que l'amélioration de la vitesse de patinage s'expliquerait par l'excitation du système nerveux qui augmenterait la fonction de la contractilité du muscle due à une contraction volontaire d'une charge lourde six heures plus tôt (Rixon *et al.*, 2007). De plus, cela pourrait optimiser le développement de la force musculaire par l'amélioration de la coordination intra et inter musculaire (Verkhoshansky *et al.*, 2009). Cette efficacité neuromusculaire est reliée à l'efficacité du recrutement des fibres musculaires du groupe entraîné pour produire le mouvement voulu avec explosion et puissance (Verkhoshansky *et al.*, 2009). Ce contrôle moteur est déterminé par le système nerveux et le processus neuromusculaire, tous deux fondamentaux dans la production de la force. Nous présumons aussi que l'amélioration des performances s'expliquerait par les phénomènes physiologiques de la phosphorylation des chaînes légères de myosine, de la proportion de fibres rapides

de type IIa et IIb et de la pompe sodium-potassium expliquée dans notre recension des écrits. Ces phénomènes pourraient optimiser la performance lors d'une activité de potentialisation par post-activation, puisque ceux-ci permettent à la fatigue de disparaître plus rapidement que les effets potentialisateurs (Docherty et Hodgson, 2007).

5.3 Effets du PAP sur les sauts

Nous observons que le groupe expérimental ne se démarque pas du groupe témoin en ce qui a trait aux tests de saut en longueur et de saut en hauteur. En fait, contrairement aux sprints répétés sur glace, l'entraînement contraste six heures avant les sauts n'augmente pas la performance des sauts des participants. La majorité des études réalisées sur la potentialisation par post-activation utilisent le saut vertical ou des sprints à la suite d'un back squat, puisque le transfert d'énergie est meilleur au niveau biomécanique et physiologique (Gouvea *et al.*, 2013). Notre recherche, tout comme l'étude de (Scott et Docherty, 2004), n'a observé aucune augmentation dans le saut horizontal et dans le saut vertical suite à un back squat de 5RM avec des sujets ayant au moins une année d'expérience dans l'entraînement en résistance. Ceci dit, il serait intéressant de découvrir si la combinaison d'un back squat avec un saut pliométrique identique au saut en hauteur six heures plus tôt occasionnerait une fatigue musculaire locale trop élevée considérant que les deux mouvements demandent une force rapide au niveau des extenseurs des hanches et genoux.

Toutefois, les études ayant démontrées une différence soulèvent que un des facteurs qui pourrait expliquer l'amélioration des sauts suite à un entraînement par post-activation est leur efficience neuromusculaire. Ce facteur est relié à l'efficacité du recrutement des fibres musculaires du groupe entraîné pour produire le mouvement voulu avec explosion et puissance (Verkhoshansky *et al.*, 2009). Ce contrôle moteur

est déterminé par le système nerveux et le processus neuromusculaire, tous deux fondamentaux dans la production de la force. De plus, les différents mécanismes de la potentialisation post-activation amènerait une amélioration du recrutement des unités motrices et de la force musculaire de 5 à 30 minutes seulement (Chiu *et al.*, 2003).

Donc, il est possible que dans la présente étude, la fenêtre de temps allouée, soit 6 heures, semble avoir été trop longue pour observer les bénéfices des effets potentialisateurs sur les sauts en hauteur et les sauts en longueur.

CONCLUSION

Ce projet de recherche arrive à démontrer chez les joueurs de hockey ayant accompli un entraînement contraste six heures avant une épreuve de patinage sur glace, une amélioration de leurs performances sur le temps total (s) d'exécution des sprints et sur leur vitesse moyenne (m/s) des neufs sprints répétés. De plus, cette durée de temps est représentative d'une présence au jeu au hockey sur glace.

Nous pouvons donc proposer qu'il serait bénéfique d'accentuer davantage, dans la périodisation annuelle, l'utilisation de la méthode d'entraînement contraste la journée d'une compétition afin d'améliorer la performance des joueurs de hockey. De plus, l'entraînement contraste nécessite peu de temps pour être réalisé en plus d'offrir des résultats rapides. Toutefois, il reste que la périodisation et la préparation de l'entraînement sont primordiales afin d'augmenter la performance. Des paramètres d'entraînements mal adaptés entraînent de la fatigue musculaire suite aux nombreuses contractions demandées et risque de diminuer la performance. Néanmoins, avec la méthode contraste, les préparateurs physiques qui adopte cette approche auront à mesurer et calculer de façon précise les paramètres afin d'optimiser le bilan, puisque les résultats de la PAP dépendent de plusieurs variables telles que le volume, l'intensité de la pré-sollicitation, la période de récupération, le type d'exercice choisi et les caractéristiques du sujet. Finalement, il est proposé suite à cette recherche d'effectuer des prélèvements (biopsies) musculaires pour mieux comprendre et expliquer clairement les phénomènes physiologiques qui permettent d'augmenter la performance suivant une potentialisation. L'analyse des tissus musculaires prélevés permettrait possiblement de dévoiler certains mécanismes pouvant soutenir une performance accrue au jeu lors d'une partie complète.

APPENDICE A

CONSENTEMENT

1 FORMULAIRE DE CONSENTEMENT-MINEUR

«L'EFFET DE LA POTENTIALISATION SUR LA PERFORMANCE
PHYSIQUE CHEZ LES JOUEURS DE HOCKEY»

IDENTIFICATION

Responsable du projet : Sébastien Lagrange

Programme d'enseignement : Maîtrise en kinanthropologie (physiologie de l'exercice)

Adresse courriel : lagrange.sebastien@courrier.uqam.com

Téléphone : 514-926-5088

BUT GÉNÉRAL DU PROJET ET DIRECTION

Vous êtes invité à prendre part à ce projet visant à déterminer les effets d'un entraînement en résistance sur la performance hors glace et sur glace. Ce projet de recherche est réalisé dans le cadre d'un mémoire de maîtrise sous la direction d'Alain-Steve Comtois, professeur du département des sciences de l'activité physique de la Faculté des sciences. Il peut être joint au (514) 987-3000, poste 1506 ou par courriel à l'adresse : comtois.alain-steve@uqam.ca.

L'entraîneur de votre enfant a également donné son accord à l'ajout du temps pour ce projet dans l'horaire de saison.

La contribution de votre enfant favorisera l'avancement des connaissances dans le domaine de la physiologie de l'exercice.

PROCÉDURE(S) OU TÂCHES DEMANDÉES

Avec votre autorisation et l'accord de votre enfant, lors de la première journée votre enfant sera invité à participer à une séance de tests physiques qui nous permettra de diviser le groupe en deux. Lors de la deuxième journée, le groupe expérimental devra faire un entraînement en résistance et performer des tests physiques 6 heures après l'entraînement en résistance. Par ailleurs, le deuxième groupe (témoin) n'aura qu'à effectuer les tests physiques. Le projet est d'une durée de 2 journées (durée 2 heures par jours) planifiées sur 1 semaine. Les tests physiques consistent en des sauts en hauteur, sauts en longueur et à des sprints répétés sur glace (9x 40 mètres). De plus, nous recueillerons des données à l'aide d'un capteur qui nous permettra de connaître la saturation d'oxygène local sur les quadriceps pendant le test sur glace. Ce moniteur Moxy est une petite boîte noire qui peut être porté contre la peau. Mesurant 6,14 x 4,4 x 2,1 cm sur les côtés pour 0,82 cm d'épaisseur, le dispositif prend moins de surface qu'un Post-it. Au contact de la peau, on trouve un réseau de LEDs et des détecteurs de lumière, qui transmettent une lumière proche de l'infrarouge à travers la peau, dans le tissu musculaire et revient à nouveau afin d'extraire des données sur les niveaux d'oxygène dans le sang. Il sera utilisé sur un membre inférieur de l'athlète (quadriceps). Cet appareil est couramment utilisé chez les cyclistes et dans les sports d'endurance. Cet appareil portatif nous permet de mesurer en temps réel l'oxygénation du muscle (SmO₂) soit la quantité d'hémoglobine capable de transporter l'oxygène dans les capillaires du muscle grâce à la lumière infrarouge. Il n'y a aucun inconvénient, inconfort ou danger pour vous et permettra de mieux comprendre la capacité de l'athlète à utiliser l'oxygène lors des sprints répétés sur la glace. De plus, lors des sprints répétés il y aura captation de film à l'aide d'une caméra vidéo. La distance à laquelle le joueur sera filmé nous permettra de conserver l'anonymat des sujets.

Ensuite, nous prendrons la valeur de votre lactate dans le sang à l'aide du « lactate scout analyzer » qui est un lecteur permettant de connaître la concentration de lactate dans les capillaires sanguins. Lors de la collecte de la goutte de sang, un petit inconfort peut être ressenti ressemblant à une piqûre de moustique. Nous prendrons la mesure du lactate sur le doigt de votre enfant (procédure identique lors de la prise de glucose sanguin par les diabétiques).

La collecte de données débutera selon la disponibilité des joueurs et votre enfant sera avisé quelques semaines à l'avance.

AVANTAGES ET RISQUES D'INCONFORT

Lors de la collecte de sang, un petit inconfort peut être ressenti ressemblant à une piqûre de moustique. La procédure est la même lors de la prise de glucose sanguin par les diabétiques. D'autre part, il n'y a pas d'autre risque associé à la participation de votre enfant à ce projet. Les activités proposées sont similaires à celles rencontrées dans une journée sportive ordinaire. En ce sens, les entraînements en salle de musculation supervisés par un professionnel de l'activité physique ne comportent pas plus de risque que l'entraînement effectué conventionnellement. Néanmoins, soyez assuré que le responsable du projet demeurera attentif à toute manifestation d'inconfort durant la participation de votre enfant. De plus, des personnes ressources seront sur place lors des tests physique pour aider les participants en cas de besoin.

ANONYMAT ET CONFIDENTIALITÉ

Il est entendu que les renseignements recueillis sont confidentiels et que seuls les responsables du projet et son directeur de recherche auront accès à ces données. L'ensemble du matériel de recherche sera conservé sous clé par le chercheur responsable pour la durée totale du projet. Les participants pourront réclamer leurs résultats une fois la recherche terminée s'ils le désirent.

PARTICIPATION VOLONTAIRE

La participation de votre enfant à ce projet est volontaire. Cela signifie que même si vous consentez aujourd'hui à ce que votre enfant participe à cette recherche, vous demeurez entièrement libre de mettre fin à sa participation en tout temps sans justification ni pénalité. Vous pouvez également retirer votre enfant du projet en tout temps.

Votre accord à participer implique également que vous acceptez que le responsable du projet puisse utiliser aux fins de la présente recherche, les renseignements recueillis à la condition qu'aucune information permettant d'identifier votre enfant ne soit divulguée publiquement à moins d'un consentement explicite de votre enfant.

COMPENSATION

Votre enfant ne sera pas compensé directement. Sa contribution est offerte gratuitement. Sur demande, un résumé des résultats de recherche vous sera transmis au terme du projet. Cependant, votre enfant pourra bénéficier d'entraînements en résistance et de tests sur glace gratuitement.

DES QUESTIONS SUR LE PROJET OU SUR VOS DROITS?

Vous pouvez contacter le responsable pour des questions additionnelles sur le déroulement du projet. Vous pouvez également discuter avec le directeur de recherche des conditions dans lesquelles se déroulera la participation de votre enfant et de ses droits en tant que participant de recherche.

Le projet auquel votre enfant participera a été approuvé au plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains. Pour toute question ne pouvant être adressée au directeur de recherche ou pour formuler une plainte ou des commentaires, vous pouvez contacter le Président du Comité d'éthique de la recherche pour étudiants (CÉRPÉ), par l'intermédiaire de son secrétariat au numéro (514)-987-3000 # 1646 ou par courriel à : (savard.josee@uqam.ca).

REMERCIEMENTS

Votre collaboration et celle de votre enfant sont importantes à la réalisation de ce projet et nous tenons à vous en remercier.

AUTORISATION

En tant que tuteur légal de (Nom) _____, je reconnais avoir lu le présent formulaire de consentement et consens volontairement à ce que mon enfant participe à ce projet de recherche. Je reconnais aussi que le responsable du projet a répondu à mes questions de manière satisfaisante, et que j'ai disposé de suffisamment de temps pour discuter avec mon enfant la nature et les implications de sa participation. Je comprends que sa participation à cette recherche est totalement volontaire et qu'il peut y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme, ni justification à donner. Il lui suffit d'en informer un membre de l'équipe. Je peux également décider, pour des motifs que je n'ai pas à justifier, de retirer mon enfant du projet.

J'autorise mon enfant à d'effectuer les entraînements en salle de musculation :

OUI NON

J'accepte que mon enfant effectue les tests physiques demandés :

OUI NON

J'accepte que mon enfant participe au projet:

OUI NON

J'accepte que mon enfant puisse être filmé pendant les tests physiques

OUI NON

Signature de l'enfant :

Date :

Nom _____ et coordonnées :

Signature du parent / tuteur légale :

Date :

Nom _____ et coordonnées :

Je déclare avoir expliqué le but, la nature, les avantages, les risques du projet et avoir répondu au meilleur de mes connaissances aux questions posées.

Signature du responsable du projet :

Date :

Nom _____ et coordonnées :

2 FORMULAIRE DE CONSENTEMENT-MAJEURE

«L'EFFET DE LA POTENTIALISATION SUR LA PERFORMANCE
PHYSIQUE CHEZ LES JOUEURS DE HOCKEY»

IDENTIFICATION

Responsable du projet : Sébastien Lagrange

Programme d'enseignement : Maîtrise en kinanthropologie (physiologie de l'exercice)

Adresse courriel : lagrange.sebastien@courrier.uqam.com

Téléphone : 514-926-5088

BUT GÉNÉRAL DU PROJET ET DIRECTION

Vous êtes invité à prendre part à ce projet visant à déterminer les effets d'un entraînement en résistance sur la performance hors glace et sur glace. Ce projet de recherche est réalisé dans le cadre d'un mémoire de maîtrise sous la direction d'Alain-Steve Comtois, professeur du département des sciences de l'activité physique de la Faculté des sciences. Il peut être joint au (514) 987-3000, poste 1506 ou par courriel à l'adresse : comtois.alain-steve@uqam.ca.

Les entraîneurs ont également donné leur accord à l'ajout du temps pour ce projet dans l'horaire de saison.

Votre contribution favorisera l'avancement des connaissances dans le domaine de la physiologie de l'exercice.

PROCÉDURE(S) OU TÂCHES DEMANDÉES

Avec votre autorisation, lors de la première journée vous serez invité à participer à une séance de tests physiques qui nous permettra de diviser le groupe en deux. Lors

de la deuxième journée, le groupe expérimental devra faire un entraînement en résistance et performer des tests physiques 6 heures après l'entraînement en résistance. Par ailleurs, le deuxième groupe (témoin) n'aura qu'à effectuer les tests physiques. Le projet est d'une durée de 2 journées (durée 2 heures par jours) planifiées sur 1 semaine. Les tests physiques consistent en des sauts en hauteur, sauts en longueur et à des sprints répétés sur glace (9x 40 mètres). De plus, nous recueillerons des données à l'aide d'un capteur qui nous permettra de connaître la saturation d'oxygène local sur les quadriceps pendant le test sur glace. Ce moniteur Moxy est une petite boîte noire qui peut être porté contre la peau. Mesurant 6,14 x 4,4 x 2,1 cm sur les côtés pour 0,82 cm d'épaisseur, le dispositif prend moins de surface qu'un Post-it. Au contact de la peau, on trouve un réseau de LEDS et des détecteurs de lumière, qui transmettent une lumière proche de l'infrarouge à travers la peau, dans le tissu musculaire et revient à nouveau afin d'extraire des données sur les niveaux d'oxygène dans le sang. Il sera utilisé sur un membre inférieur de l'athlète (quadriceps). Cet appareil est couramment utilisé chez les cyclistes et dans les sports d'endurance. Cet appareil portatif nous permet de mesurer en temps réel l'oxygénation du muscle (SmO₂) soit la quantité d'hémoglobine capable de transporter l'oxygène dans les capillaires du muscle grâce à la lumière infrarouge. Il n'y a aucun inconvénient, inconfort ou danger pour vous et permettra de mieux comprendre la capacité de l'athlète à utiliser l'oxygène lors des sprints répétés sur la glace. De plus, lors des sprints répétés il y aura captation de film à l'aide d'une caméra vidéo. La distance à laquelle le joueur sera filmé nous permettra de conserver l'anonymat des sujets.

Ensuite, nous prendrons la valeur de votre lactate dans le sang à l'aide du « lactate scout analyzer » qui est un lecteur permettant de connaître la concentration de lactate dans les capillaires sanguins. Lors de la collecte de la goutte de sang, un petit inconfort peut être ressenti ressemblant à une piqûre de moustique. Nous prendrons la

mesure du lactate sur un de votre doigt (procédure identique lors de la prise de glucose sanguin par les diabétiques).

La collecte de données débutera selon la disponibilité des joueurs et vous serez avisé quelques semaines à l'avance.

AVANTAGES ET RISQUES D'INCONFORT

Lors de la collecte de sang, un petit inconfort peut être ressenti ressemblant à une piqûre de moustique. La procédure est la même lors de la prise de glucose sanguin par les diabétiques. D'autre part, il n'y a pas d'autre risque associé à votre participation à ce projet. Les activités proposées sont similaires à celles rencontrées dans une journée sportive ordinaire. En ce sens, les entraînements en salle de musculation supervisés par un professionnel de l'activité physique ne comportent pas plus de risque que l'entraînement effectué conventionnellement. Néanmoins, soyez assuré que le responsable du projet demeurera attentif à toute manifestation d'inconfort durant votre participation. De plus, des personnes ressources seront sur place lors des tests physique pour aider les participants en cas de besoin.

ANONYMAT ET CONFIDENTIALITÉ

Il est entendu que les renseignements recueillis sont confidentiels et que seuls les responsables du projet et son directeur de recherche auront accès à ces données. L'ensemble du matériel de recherche sera conservé sous clé par le chercheur responsable pour la durée totale du projet. Les participants pourront réclamer leurs résultats une fois la recherche terminée s'ils le désirent.

PARTICIPATION VOLONTAIRE

Votre participation à ce projet est volontaire. Cela signifie que même si vous consentez aujourd'hui à ce que vous participiez à cette recherche, vous demeurez

entièrement libre de mettre fin à votre participation en tout temps sans justification ni pénalité. Vous pouvez également vous retirer du projet en tout temps.

Votre accord à participer implique également que vous acceptez que le responsable du projet puisse utiliser aux fins de la présente recherche, les renseignements recueillis à la condition qu'aucune information permettant de vous identifier ne soit divulguée publiquement à moins d'un consentement explicite de votre part.

COMPENSATION

Vous ne serez pas compensé directement. Votre contribution est offerte gratuitement. Sur demande, un résumé des résultats de recherche vous sera transmis au terme du projet. Cependant, vous pourrez bénéficier d'entraînements en résistance et de tests sur glace gratuitement.

DES QUESTIONS SUR LE PROJET OU SUR VOS DROITS?

Vous pouvez contacter le responsable pour des questions additionnelles sur le déroulement du projet. Vous pouvez également discuter avec le directeur de recherche des conditions dans lesquelles se déroulera votre participation et de vos droits en tant que participant de recherche.

Le projet auquel vous allez participer a été approuvé au plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains. Pour toute question ne pouvant être adressée au directeur de recherche ou pour formuler une plainte ou des commentaires, vous pouvez contacter le Président du Comité d'éthique de la recherche pour étudiants (CÉRPÉ), par l'intermédiaire de son secrétariat au numéro (514)-987-3000 # 1646 ou par courriel à : (savard.josee@uqam.ca).

REMERCIEMENTS

Votre collaboration est importante à la réalisation de ce projet et nous tenons à vous en remercier.

AUTORISATION

En tant que participant (Nom) _____, je reconnais avoir lu le présent formulaire de consentement et consens volontairement à ma participation à ce projet de recherche. Je reconnais aussi que le responsable du projet a répondu à mes questions de manière satisfaisante, et que j'ai disposé de suffisamment de temps pour comprendre et étudier la nature et les implications de ma participation. Je comprends que ma participation à cette recherche est totalement volontaire et que je peux y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme, ni justification à donner. Il vous suffit d'en informer un membre de l'équipe. Je peux également décider, pour des motifs que je n'ai pas à justifier, de me retirer du projet.

J'accepte d'effectuer les entraînements en salle de musculation :

OUI NON

J'accepte d'effectuer les tests physiques demandés :

OUI NON

J'accepte ma participation au projet:

OUI NON

J'accepte le fait que je pourrais être filmé pendant les tests physiques

OUI NON

Signature du participant :

Date :

Nom _____ et coordonnées :

Je déclare avoir expliqué le but, la nature, les avantages, les risques du projet et avoir répondu au meilleur de mes connaissances aux questions posées.

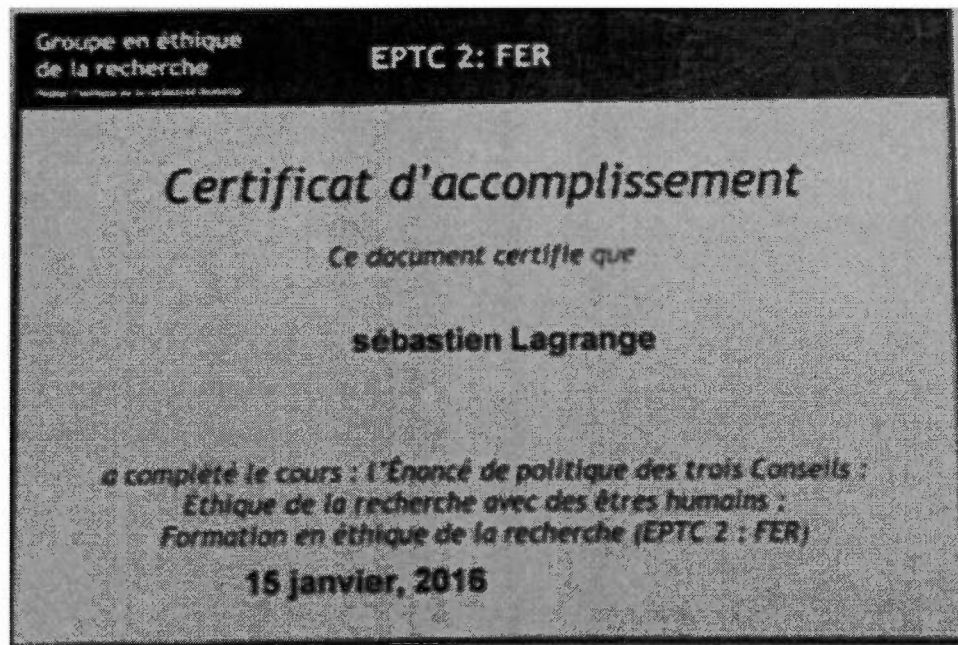
Signature du responsable du projet :

Date :

Nom _____ et coordonnées :

APPENDICE B

APPROBATION DU COMITÉ DE DÉONTOLOGIE



CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE 3: sciences et sciences de l'éducation) a examiné le projet de recherche suivant et le juge conforme aux pratiques habituelles ainsi qu'aux normes établies par la *Politique No 54 sur l'éthique de la recherche avec des êtres humains* (Janvier 2016) de l'UQAM.

Titre du projet:	L'effet de la potentialisation sur la performance chez les joueurs de hockey.
Nom de l'étudiant:	Sébastien LAGRANGE
Programme d'études:	Maîtrise en kinanthropologie
Direction de recherche:	Alain Steve COMTOIS

Modalités d'application

Toute modification au protocole de recherche en cours de même que tout événement ou renseignement pouvant affecter l'intégrité de la recherche doivent être communiqués rapidement au comité.

La suspension ou la cessation du protocole, temporaire ou définitive, doit être communiquée au comité dans les meilleurs délais.

Le présent certificat est valide pour une durée d'un an à partir de la date d'émission. Au terme de ce délai, un rapport d'avancement de projet doit être soumis au comité, en guise de rapport final si le projet est réalisé en moins d'un an, et en guise de rapport annuel pour le projet se poursuivant sur plus d'une année. Dans ce dernier cas, le rapport annuel permettra au comité de se prononcer sur le renouvellement du certificat d'approbation éthique.



Jacinthe Giroux

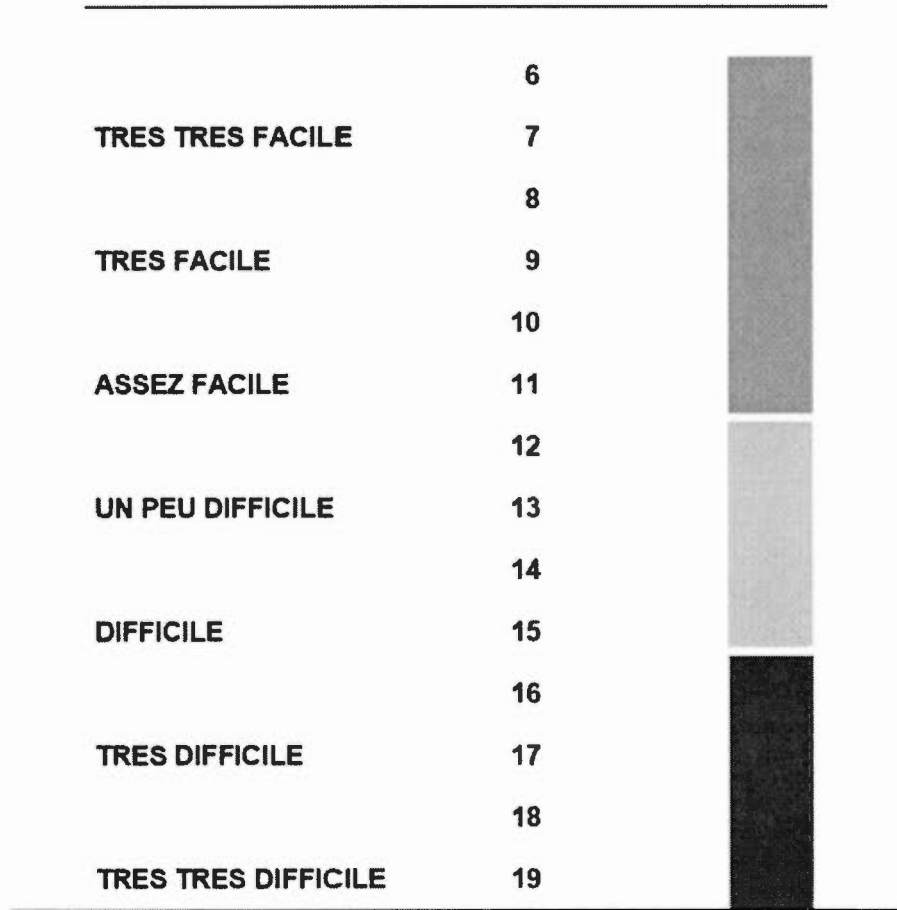
Professeure
Présidente du CERPE 3

APPENDICE C

QUESTIONNAIRE PERCEPTION DE L'EFFORT

ECHELLE DE BORG

Perception de la fatigue



APPENDICE E

ACTIVATION PRÉ-ENTRAÎNEMENT ET PRÉ-TEST (10 MIN)

<i>Mouvements</i>	<i>Séries</i>	<i>Distance</i>	<i>temps</i>
<i>Échauffement général</i>	<i>1</i>		<i>120sec</i>
<i>High Knees</i>	<i>2</i>	<i>20m</i>	<i>30sec</i>
<i>Heels to Butt</i>	<i>2</i>	<i>20m</i>	<i>30sec</i>
<i>Carioca</i>	<i>4</i>	<i>20m</i>	<i>60sec</i>
<i>Dynamic lunges with rotation</i>	<i>2</i>	<i>20m</i>	<i>30sec</i>
<i>Hip Rotations</i>	<i>4</i>	<i>20m</i>	<i>60sec</i>
<i>Lateral Lunges</i>	<i>4</i>	<i>20m</i>	<i>60sec</i>
<i>Backward lunges reach and twist</i>	<i>2</i>	<i>20m</i>	<i>30sec</i>
<i>Leg swings</i>	<i>2</i>	<i>20m</i>	<i>60sec</i>
<i>Front tuck to sprint</i>	<i>6</i>	<i>20m</i>	<i>120sec</i>

Il est important de noter que les équipes ont normalement déjà des programmes de réchauffement, mais que pour le projet, nous désirons contrôler tous les paramètres possibles afin qu'aucun élément extérieur n'influence les résultats. Tous les athlètes ont donc suivi cette progression de réchauffement, quelques-uns utilisaient des "Foam Roller", ce qui était permis.

APPENDICE G

DONNÉES RECUEILLIES DURANT L'ENTRAÎNEMENT 6 HEURES AVANT LES TESTS PHYSIQUES DES GROUPES EXPERIMENTAUX

MIDGET AAA

Variables	Gr E (=11)
Squat-5RM (lbs)	274.1 (47.7)
Squat estimé-1RM (lbs)	308.4 (53.6)
Ratio Force relative/poids	1.79 (0.3)

Moyenne et (écart type)

LHJMQ

Variables	Gr E (=10)
Squat-5RM (lbs)	321. (46.4)
Squat estimé-1RM (lbs)	361.2 (52.9)
Ratio Force relative/poids	1.77 (0.2)

Moyenne et (écart type)

COMBINÉ

Variables	Gr E (=21)
Squat-5RM (lbs)	269.4 (51.4)
Squat estimé-1RM (lbs)	333.5 (58.9)
Ratio Force relative/poids	1.78 (0.3)

Moyenne et (écart type)

APPENDICE H

FORMULES

Diminution (%) Fatigue	$100 \times (\text{Total des 9 Sprints} \div \text{Sprint idéal}) - 100$
Indice de fatigue	$((\text{Sprint 9} - \text{Sprint 1}) \div \text{Sprint 1}) \times 100$
Sprint idéal	Sprint le plus rapide \times le nombre de Sprint (9)

BIBLIOGRAPHIE

- Adrian, R.H. (1956). The effect of internal and external potassium concentration on the membrane potential of frog muscle. *J Physiol*, 133(3), 631-658.
- Aikawa, J. *Magnesium: Its biological significance*. 1981 : Boca Raton, Florida: CRC Press Inc.
- Andersen, J.L., Klitgaard, H., Bangsbo, J. et Saltin, B. (1994). Myosin heavy chain isoforms in single fibres from m. vastus lateralis of soccer players: effects of strength-training. *Acta Physiol Scand*, 150(1), 21-26. doi: 10.1111/j.1748-1716.1994.tb09655.x
- Arancio, O., Kiebler, M., Lee, C.J., Lev-Ram, V., Tsien, R.Y., Kandel, E.R. et Hawkins, R.D. (1996). Nitric oxide acts directly in the presynaptic neuron to produce long-term potentiation in cultured hippocampal neurons. *Cell*, 87(6), 1025-1035.
- Armstrong, M.L., Dua, A.K. et Murrant, C.L. (2007). Potassium initiates vasodilatation induced by a single skeletal muscle contraction in hamster cremaster muscle. *J Physiol*, 581(Pt 2), 841-852. doi: 10.1113/jphysiol.2007.130013
- Ataei, N., Sabzghabae, A.M. et Movahedian, A. (2015). Calcium/Calmodulin-dependent Protein Kinase II is a Ubiquitous Molecule in Human Long-term Memory Synaptic Plasticity: A Systematic Review. *Int J Prev Med*, 6, 88. doi: 10.4103/2008-7802.164831
- Aughey, R.J., Murphy, K.T., Clark, S.A., Garnham, A.P., Snow, R.J., Cameron-Smith, D., Hawley, J.A. et McKenna, M.J. (2007). Muscle Na⁺-K⁺-ATPase activity and isoform adaptations to intense interval exercise and training in well-trained athletes. *Journal of Applied Physiology*, 103(1), 39-47. doi: 10.1152/jappphysiol.00236.2006
Récupéré de <http://jap.physiology.org/jap/103/1/39.full.pdf>
- Baechle, T.R., Earle, R.W., Strength, N. et Association, C. (2000). *Essentials of Strength Training and Conditioning*. : Human Kinetics.
- Baker, D. (2003). Acute effect of alternating heavy and light resistances on power output during upper-body complex power training. *J Strength Cond Res*, 17(3), 493-497.

- Balshaw, D.M., Yamaguchi, N. et Meissner, G. (2002). Modulation of intracellular calcium-release channels by calmodulin. *J Membr Biol*, 185(1), 1-8. doi: 10.1007/s00232-001-0111-4
- Bardoni, R., Torsney, C., Tong, C.K., Prandini, M. et MacDermott, A.B. (2004). Presynaptic NMDA receptors modulate glutamate release from primary sensory neurons in rat spinal cord dorsal horn. *J Neurosci*, 24(11), 2774-2781. doi: 10.1523/jneurosci.4637-03.2004
- Bartus, K., Pigott, B. et Garthwaite, J. (2013). Cellular targets of nitric oxide in the hippocampus. *PLoS One*, 8(2), e57292. doi: 10.1371/journal.pone.0057292
- Batista, M.A., Roschel, H., Barroso, R., Ugrinowitsch, C. et Tricoli, V. (2011). Influence of strength training background on postactivation potentiation response. *J Strength Cond Res*, 25(9), 2496-2502. doi: 10.1519/JSC.0b013e318200181b
- Behm, D.G., Button, D.C., Barbour, G., Butt, J.C. et Young, W.B. (2004). Conflicting effects of fatigue and potentiation on voluntary force. *J Strength Cond Res*, 18(2), 365-372. doi: 10.1519/r-12982.1
- Berchtold, M.W., Brinkmeier, H. et Muntener, M. (2000). Calcium ion in skeletal muscle: its crucial role for muscle function, plasticity, and disease. *Physiol Rev*, 80(3), 1215-1265.
- Berquin, A. et Lebacqz, J. (1992). Parvalbumin, labile heat and slowing of relaxation in mouse soleus and extensor digitorum longus muscles. *J Physiol*, 445, 601-616.
- Berry, D.C. et Seitz, S.R. (2012). Educating the Educator: Use of Pulse Oximetry in Athletic Training. *Athletic Training Education Journal*, 7(2), 74-80. doi: doi:10.4085/070274
Récupéré de <http://natajournals.org/doi/abs/10.4085/070274>
- Bevan, H.R., Cunningham, D.J., Tooley, E.P., Owen, N.J., Cook, C.J. et Kilduff, L.P. (2010). Influence of postactivation potentiation on sprinting performance in professional rugby players. *J Strength Cond Res*, 24(3), 701-705. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c7b68a

- Billaut, F. et Bishop, D. (2009). Muscle fatigue in males and females during multiple-sprint exercise. *Sports Med*, 39(4), 257-278. doi: 10.2165/00007256-200939040-00001
- Binder-Macleod, S. et Kesar, T. (2005). Catchlike property of skeletal muscle: recent findings and clinical implications. *Muscle Nerve*, 31(6), 681-693. doi: 10.1002/mus.20290
- Bishop, D., Lawrence, S. et Spencer, M. (2003). Predictors of repeated-sprint ability in elite female hockey players. *J Sci Med Sport*, 6(2), 199-209.
- Bompa, T. et Buzzichelli, C. (2015). *Periodization Training for Sports, 3E.* : Human Kinetics Publishers.
- Buchheit, M., Lefebvre, B., Laursen, P.B. et Ahmaidi, S. (2011). Reliability, usefulness, and validity of the 30-15 Intermittent Ice Test in young elite ice hockey players. *J Strength Cond Res*, 25(5), 1457-1464. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d686b7
- Buchwald, J.S. (1967). Exteroceptive reflexes and movement. *Am J Phys Med*, 46(1), 121-128.
- Burr, J.F., Jamnik, R.K., Baker, J., Macpherson, A., Gledhill, N. et McGuire, E.J. (2008). Relationship of physical fitness test results and hockey playing potential in elite-level ice hockey players. *J Strength Cond Res*, 22(5), 1535-1543. doi: 10.1519/JSC.0b013e318181ac20
- Carey, D.G., Drake, M.M., Pliego, G.J. et Raymond, R.L. (2007). Do hockey players need aerobic fitness? Relation between VO₂max and fatigue during high-intensity intermittent ice skating. *J Strength Cond Res*, 21(3), 963-966. doi: 10.1519/r-18881.1
- Chatzopoulos, D.E., Michailidis, C.J., Giannakos, A.K., Alexiou, K.C., Patikas, D.A., Antonopoulos, C.B. et Kotzamanidis, C.M. (2007). Postactivation potentiation effects after heavy resistance exercise on running speed. *J Strength Cond Res*, 21(4), 1278-1281. doi: 10.1519/r-21276.1
- Chiu, L.Z., Fry, A.C., Weiss, L.W., Schilling, B.K., Brown, L.E. et Smith, S.L. (2003). Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. *J Strength Cond Res*, 17(4), 671-677.

- Clausen, T. (1996). Long- and Short-Term Regulation of the Na⁺-K⁺-Pump in Skeletal Muscle. *Physiology*, *11*(1), 24-30. Récupéré de <http://physiologyonline.physiology.org/nips/11/1/24.full.pdf>
- Clausen, T. (2003). Na⁺-K⁺ pump regulation and skeletal muscle contractility. *Physiol Rev*, *83*(4), 1269-1324. doi: 10.1152/physrev.00011.2003
- Clausen, T., Nielsen, O.B., Harrison, A.P., Flatman, J.A. et Overgaard, K. (1998). The Na⁺,K⁺ pump and muscle excitability. *Acta Physiol Scand*, *162*(3), 183-190. doi: 10.1046/j.1365-201X.1998.0295e.x
- Comyns, T.M., Harrison, A.J. et Hennessy, L.K. (2010). Effect of squatting on sprinting performance and repeated exposure to complex training in male rugby players. *J Strength Cond Res*, *24*(3), 610-618. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c7c3fc
- Cook, C.J. et Crewther, B.T. (2012). The effects of different pre-game motivational interventions on athlete free hormonal state and subsequent performance in professional rugby union matches. *Physiol Behav*, *106*(5), 683-688. doi: 10.1016/j.physbeh.2012.05.009
- Cook, C.J., Kilduff, L.P., Crewther, B.T., Beaven, M. et West, D.J. (2014). Morning based strength training improves afternoon physical performance in rugby union players. *J Sci Med Sport*, *17*(3), 317-321. doi: 10.1016/j.jsams.2013.04.016
- Cox, M., Miles, D., Verde, T. et Rhodes, E. (1995). Applied Physiology of Ice Hockey. *Sports Medicine*, *19*(3), 184-201. doi: 10.2165/00007256-199519030-00004 Récupéré de <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-199519030-00004>
- Cox, M.H., Miles, D.S., Verde, T.J. et Rhodes, E.C. (1995). Applied physiology of ice hockey. *Sports Med*, *19*(3), 184-201.
- Davies, G., Riemann, B.L. et Manske, R. (2015). CURRENT CONCEPTS OF PLYOMETRIC EXERCISE. *International Journal of Sports Physical Therapy*, *10*(6), 760-786. PMC. Récupéré de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4637913/>
- Dean, C. (2008). *The Magnesium Miracle (Revised and Updated)*. : Ballantine Books.

- del Olmo, N., Galarreta, M., Bustamante, J., Martin del Rio, R. et Solis, J.M. (2000). Taurine-induced synaptic potentiation: role of calcium and interaction with LTP. *Neuropharmacology*, 39(1), 40-54.
- del Olmo, N., Handler, A., Alvarez, L., Bustamante, J., Martin del Rio, R. et Solis, J.M. (2003). Taurine-induced synaptic potentiation and the late phase of long-term potentiation are related mechanistically. *Neuropharmacology*, 44(1), 26-39.
- del Olmo, N., Suarez, L.M., Orensanz, L.M., Suarez, F., Bustamante, J., Duarte, J.M., Martin del Rio, R. et Solis, J.M. (2004). Role of taurine uptake on the induction of long-term synaptic potentiation. *Eur J Neurosci*, 19(7), 1875-1886. doi: 10.1111/j.1460-9568.2004.03309.x
- Docherty, D. et Hodgson, M.J. (2007). The application of postactivation potentiation to elite sport. *Int J Sports Physiol Perform*, 2(4), 439-444.
- Duchateau, J. et Hainaut, K. (1984). Training effects on muscle fatigue in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 53(3), 248-252.
- Duchateau, J. et Hainaut, K. (2008). Mechanisms of Muscle and Motor Unit Adaptation to Explosive Power Training. Dans *Strength and Power in Sport* (p. 316-330) : Blackwell Science Ltd.
- Enoka, R.M. (2002). *Neuromechanics of Human Movement*. : Human Kinetics.
- Eric MacLean, B.H., CSCS, CK, CFC (2014). A Theoretical Review of the Physiological Demands of Ice-Hockey and a Full Year Periodized Sport Specific Conditioning Program for the Canadian Junior Hockey Player *School of Exercise, Biomedical, and Health Sciences, Edith Cowen University, Perth, Australia*
- Esformes, J.I., Keenan, M., Moody, J. et Bampouras, T.M. (2011). Effect of different types of conditioning contraction on upper body postactivation potentiation. *J Strength Cond Res*, 25(1), 143-148. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181fef7f3
- Fernandez-Fernandez, J., Sanz-Rivas, D., Saes de Villarreal, E. et Moya, M. (2015). The Effects of 8-Week Plyometric Training on Physical Performance in Young Tennis Players. *Pediatr Exerc Sci*. doi: 10.1123/pes.2015-0019

- Fernandez-Santos, J.R., Ruiz, J.R., Cohen, D.D., Gonzalez-Montesinos, J.L. et Castro-Pinero, J. (2015). Reliability and Validity of Tests to Assess Lower-Body Muscular Power in Children. *J Strength Cond Res*, 29(8), 2277-2285. doi: 10.1519/jsc.0000000000000864
- Fioravante, D., Chu, Y., Myoga, M.H., Leitges, M. et Regehr, W.G. (2011). Calcium-dependent isoforms of protein kinase C mediate posttetanic potentiation at the calyx of Held. *Neuron*, 70(5), 1005-1019. doi: 10.1016/j.neuron.2011.04.019
- Folland, J.P. et Williams, A.G. (2007). The adaptations to strength training : morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med*, 37(2), 145-168.
- Foxdal, P., Sjodin, B., Sjodin, A. et Ostman, B. (1994). The validity and accuracy of blood lactate measurements for prediction of maximal endurance running capacity. Dependency of analyzed blood media in combination with different designs of the exercise test. *Int J Sports Med*, 15(2), 89-95. doi: 10.1055/s-2007-1021026
- Ganong, W. et Jobin, M. (2005). *Physiologie médicale*. : De Boeck Supérieur.
- Gear, W.S. (2011). Effect of different levels of localized muscle fatigue on knee position sense. *J Sports Sci Med*, 10(4), 725-730.
- Geeves, M.A. et Holmes, K.C. (1999). Structural mechanism of muscle contraction. *Annu Rev Biochem*, 68, 687-728. doi: 10.1146/annurev.biochem.68.1.687
- Gordon, A.M., Homsher, E. et Regnier, M. (2000). Regulation of contraction in striated muscle. *Physiol Rev*, 80(2), 853-924.
- Gouvea, A.L., Fernandes, I.A., Cesar, E.P., Silva, W.A. et Gomes, P.S. (2013). The effects of rest intervals on jumping performance: a meta-analysis on post-activation potentiation studies. *J Sports Sci*, 31(5), 459-467. doi: 10.1080/02640414.2012.738924
- Grange, R.W., Vandenboom, R. et Houston, M.E. (1993). Physiological significance of myosin phosphorylation in skeletal muscle. *Can J Appl Physiol*, 18(3), 229-242.

- Green, H., Bishop, P., Houston, M., McKillop, R., Norman, R. et Stothart, P. (1976). Time-motion and physiological assessments of ice hockey performance. *Journal of Applied Physiology*, 40(2), 159-163. Récupéré de <http://jap.physiology.org/40/2/159.full.pdf>
- Green, H., Dahly, A., Shoemaker, K., Goreham, C., Bombardier, E. et Ball-Burnett, M. (1999). Serial effects of high-resistance and prolonged endurance training on Na⁺-K⁺ pump concentration and enzymatic activities in human vastus lateralis. *Acta Physiol Scand*, 165(2), 177-184. doi: 10.1046/j.1365-201x.1999.00484.x
- Green, H., MacDougall, J., Tarnopolsky, M. et Melissa, N.L. (1999). Downregulation of Na⁺-K⁺-ATPase pumps in skeletal muscle with training in normobaric hypoxia. *J Appl Physiol (1985)*, 86(5), 1745-1748.
- Guérin, N. (2011). Conception et évaluation d'un élément de mesure de hauteur de saut vertical. *Projet*, 2011, 234.
- Hamada, T., Sale, D.G., MacDougall, J.D. et Tarnopolsky, M.A. (2000). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *J Appl Physiol (1985)*, 88(6), 2131-2137.
- Harrison, A. (2011). Postactivation potentiation: predictors in NCAA Division II varsity track and field power athletes. *WWU Masters Thesis Collection. Paper 130*.
- Hay, J.G. (1985). The biomechanics of the long jump. *Exercise and sport sciences reviews*, 14, 401-446.
- Hilfiker, R., Hubner, K., Lorenz, T. et Marti, B. (2007). Effects of drop jumps added to the warm-up of elite sport athletes with a high capacity for explosive force development. *J Strength Cond Res*, 21(2), 550-555. doi: 10.1519/r-20215.1
- Hodgson, M., Docherty, D. et Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation: underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Med*, 35(7), 585-595.
- Holloszy, J.O. et Coyle, E.F. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 56(4), 831-838.

- Howard, J.D. et Enoka, R.M. (1991). Maximum bilateral contractions are modified by neurally mediated interlimb effects. *J Appl Physiol (1985)*, 70(1), 306-316.
- Hrysomallis, C. et Kidgell, D. (2001). Effect of heavy dynamic resistive exercise on acute upper-body power. *J Strength Cond Res*, 15(4), 426-430.
- Hunter, S.K. (2009). Sex Differences and Mechanisms of Task-Specific Muscle Fatigue. *Exercise and sport sciences reviews*, 37(3), 113-122. doi: 10.1097/JES.0b013e3181aa63e2 PMC. Récupéré de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2909485/>
- Hunter, S.K. (2014). Sex differences in human fatigability: mechanisms and insight to physiological responses. *Acta Physiol (Oxf)*, 210(4), 768-789. doi: 10.1111/apha.12234
- Hunter, S.K. et Enoka, R.M. (2001). Sex differences in the fatigability of arm muscles depends on absolute force during isometric contractions. *J Appl Physiol (1985)*, 91(6), 2686-2694.
- Iio, W., Matsukawa, N., Tsukahara, T. et Toyoda, A. (2012). The effects of oral taurine administration on behavior and hippocampal signal transduction in rats. *Amino Acids*, 43(5), 2037-2046. doi: 10.1007/s00726-012-1282-2
- Jahnen-Dechent, W. et Ketteler, M. (2012). Magnesium basics. *Clinical Kidney Journal*, 5(Suppl 1), i3-i14. doi: 10.1093/ndtplus/sfr163 Récupéré de http://ckj.oxfordjournals.org/content/5/Suppl_1/i3.abstract
- Jones, D., Bigland-Ritchie, B. et Edwards, R. (1979). Excitation frequency and muscle fatigue: mechanical responses during voluntary and stimulated contractions. *Experimental neurology*, 64(2), 401-413.
- Kajiyama, H. (1992). Shape of the myosin head. *Int J Biochem*, 24(11), 1679-1689.
- Kantor, D.B., Lanzrein, M., Stary, S.J., Sandoval, G.M., Smith, W.B., Sullivan, B.M., Davidson, N. et Schuman, E.M. (1996). A role for endothelial NO synthase in LTP revealed by adenovirus-mediated inhibition and rescue. *Science*, 274(5293), 1744-1748.

- Katz, B. et Miledi, R. (1968). The role of calcium in neuromuscular facilitation. *J Physiol*, 195(2), 481-492.
- Kellis, E. et Kouvelioti, V. (2009). Agonist versus antagonist muscle fatigue effects on thigh muscle activity and vertical ground reaction during drop landing. *J Electromyogr Kinesiol*, 19(1), 55-64. doi: 10.1016/j.jelekin.2007.08.002
- Kilduff, L.P., Finn, C.V., Baker, J.S., Cook, C.J. et West, D.J. (2013). Preconditioning strategies to enhance physical performance on the day of competition. *Int J Sports Physiol Perform*, 8(6), 677-681.
- Kilduff, L.P., Owen, N., Bevan, H., Bennett, M., Kingsley, M.I. et Cunningham, D. (2008). Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players. *J Sports Sci*, 26(8), 795-802. doi: 10.1080/02640410701784517
- Klavora, P. (2000). Vertical-jump tests: a critical review. *Strength & Conditioning Journal*, 22(5), 70.
- Konrad, M., Schlingmann, K.P. et Gudermann, T. (2004). Insights into the molecular nature of magnesium homeostasis. *Am J Physiol Renal Physiol*, 286(4), F599-605. doi: 10.1152/ajprenal.00312.2003
- Lee, W.-L., Anwyl, R. et Rowan, M. (1987). Caffeine inhibits post-tetanic potentiation but does not alter long-term potentiation in the rat hippocampal slice. *Brain Research*, 426(2), 250-256. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0006-8993\(87\)90879-1](http://dx.doi.org/10.1016/0006-8993(87)90879-1) Récupéré de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0006899387908791>
- Leger, L. et Boucher, R. (1980). An indirect continuous running multistage field test: the Université de Montreal track test. *Can J Appl Sport Sci*, 5(2), 77-84.
- Leger, L., Seliger, V. et Brassard, L. (1979). Comparisons among VO2 max values for hockey players and runners. *Can J Appl Sport Sci*, 4(1), 18-21.
- Leone, M., Leger, L.A., Lariviere, G. et Comtois, A.S. (2007). An on-ice aerobic maximal multistage shuttle skate test for elite adolescent hockey players. *Int J Sports Med*, 28(10), 823-828. doi: 10.1055/s-2007-964986

- Lesinski, M., Muehlbauer, T., Busch, D. et Granacher, U. (2014). [Effects of complex training on strength and speed performance in athletes: a systematic review. Effects of complex training on athletic performance]. *Sportverletz Sportschaden*, 28(2), 85-107. doi: 10.1055/s-0034-1366145
- Lohman, T.G., Houtkooper, L. et Going, S.B. (1997). Body Fat Measurement Goes High-Tech: Not All Are Created Equal. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 1(1), 30-35.
- Low, D., Harsley, P., Shaw, M. et Peart, D. (2015). The effect of heavy resistance exercise on repeated sprint performance in youth athletes. *J Sports Sci*, 33(10), 1028-1034. doi: 10.1080/02640414.2014.979857
- Ma, J., Duan, Y., Qin, Z., Wang, J., Liu, W., Xu, M., Zhou, S. et Cao, X. (2015). Overexpression of alphaCaMKII impairs behavioral flexibility and NMDAR-dependent long-term depression in the medial prefrontal cortex. *Neuroscience*. doi: 10.1016/j.neuroscience.2015.09.051
- MacDougall, J.D., Ward, G.R. et Sutton, J.R. (1977). Muscle glycogen repletion after high-intensity intermittent exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 42(2), 129-132.
- MacIntosh, B.R., Holash, R.J. et Renaud, J.M. (2012). Skeletal muscle fatigue--regulation of excitation-contraction coupling to avoid metabolic catastrophe. *J Cell Sci*, 125(Pt 9), 2105-2114. doi: 10.1242/jcs.093674
- Maio Alves, J.M., Rebelo, A.N., Abrantes, C. et Sampaio, J. (2010). Short-term effects of complex and contrast training in soccer players' vertical jump, sprint, and agility abilities. *J Strength Cond Res*, 24(4), 936-941. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c7c5fd
- Malinow, R., Schulman, H. et Tsien, R.W. (1989). Inhibition of postsynaptic PKC or CaMKII blocks induction but not expression of LTP. *Science*, 245(4920), 862-866.
- Mameli, M., Carta, M., Partridge, L.D. et Valenzuela, C.F. (2005). Neurosteroid-induced plasticity of immature synapses via retrograde modulation of presynaptic NMDA receptors. *J Neurosci*, 25(9), 2285-2294. doi: 10.1523/jneurosci.3877-04.2005

- Markovic, G. (2007). Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *Br J Sports Med*, 41(6), 349-355. doi: 10.1136/bjism.2007.035113
- Mascaro, T., Seaver, B.L. et Swanson, L. (1992). Prediction of skating speed with off-ice testing in professional hockey players. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 15(2), 92-98.
- McBride, J.M., Nimphius, S. et Erickson, T.M. (2005). The acute effects of heavy-load squats and loaded countermovement jumps on sprint performance. *J Strength Cond Res*, 19(4), 893-897. doi: 10.1519/r-16304.1
- McKenna, M.J., Bangsbo, J. et Renaud, J.M. (2008). Muscle K⁺, Na⁺, and Cl disturbances and Na⁺-K⁺ pump inactivation: implications for fatigue. *J Appl Physiol (1985)*, 104(1), 288-295. doi: 10.1152/jappphysiol.01037.2007
- McKenna, M.J., Medved, I., Goodman, C.A., Brown, M.J., Bjorksten, A.R., Murphy, K.T., Petersen, A.C., Sostaric, S. et Gong, X. (2006). N-acetylcysteine attenuates the decline in muscle Na⁺,K⁺-pump activity and delays fatigue during prolonged exercise in humans. *J Physiol*, 576(Pt 1), 279-288. doi: 10.1113/jphysiol.2006.115352
- McKenna, M.J., Schmidt, T.A., Hargreaves, M., Cameron, L., Skinner, S.L. et Kjeldsen, K. (1993). Sprint training increases human skeletal muscle Na⁽⁺⁾-K⁽⁺⁾-ATPase concentration and improves K⁺ regulation. *J Appl Physiol (1985)*, 75(1), 173-180.
- McLeod, W.D., Hunter, S.C. et Etchison, B. (1983). Performance measurement and percent body fat in the high school athlete. *Am J Sports Med*, 11(6), 390-397. doi: 10.1177/036354658301100603
- Metzger, J.M., Greaser, M.L. et Moss, R.L. (1989). Variations in cross-bridge attachment rate and tension with phosphorylation of myosin in mammalian skinned skeletal muscle fibers. Implications for twitch potentiation in intact muscle. *J Gen Physiol*, 93(5), 855-883.
- Mitchell, C.J. et Sale, D.G. (2011). Enhancement of jump performance after a 5-RM squat is associated with postactivation potentiation. *Eur J Appl Physiol*, 111(8), 1957-1963. doi: 10.1007/s00421-010-1823-x

- Mola, J.N., Bruce-Low, S.S. et Burnet, S.J. (2014). Optimal recovery time for postactivation potentiation in professional soccer players. *J Strength Cond Res*, 28(6), 1529-1537. doi: 10.1519/jsc.0000000000000313
- Montgomery, D.L. (1988). Physiology of ice hockey. *Sports Med*, 5(2), 99-126.
- Montgomery, D.L. (2006). Physiological profile of professional hockey players - a longitudinal comparison. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 31(3), 181-185. doi: 10.1139/h06-012 Récupéré de <http://dx.doi.org/10.1139/h06-012>
- Morel, J.M. et D'Hahan, N. (2000). The myosin motor: muscle contraction and in vitro movement. *Biochim Biophys Acta*, 1474(2), 128-132.
- Noonan, B.C. (2010). Intragame blood-lactate values during ice hockey and their relationships to commonly used hockey testing protocols. *J Strength Cond Res*, 24(9), 2290-2295. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e99c4a
- Nordsborg, N., Mohr, M., Pedersen, L.D., Nielsen, J.J., Langberg, H. et Bangsbo, J. (2003). Muscle interstitial potassium kinetics during intense exhaustive exercise: effect of previous arm exercise. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 285(1), R143-R148. doi: 10.1152/ajpregu.00029.2003 Récupéré de <http://ajpregu.physiology.org/content/ajpregu/285/1/R143.full.pdf>
- Nowak, L., Bregestovski, P., Ascher, P., Herbet, A. et Prochiantz, A. (1984). Magnesium gates glutamate-activated channels in mouse central neurones. *Nature*, 307(5950), 462-465.
- Oliver, J.L. (2009). Is a fatigue index a worthwhile measure of repeated sprint ability? *J Sci Med Sport*, 12(1), 20-23. doi: 10.1016/j.jsams.2007.10.010
- Ostojic, S.M. (2006). Estimation of body fat in athletes: skinfolds vs bioelectrical impedance. *J Sports Med Phys Fitness*, 46(3), 442-446.
- Palmieri, R.M., Ingersoll, C.D. et Hoffman, M.A. (2004). The hoffmann reflex: methodologic considerations and applications for use in sports medicine and athletic training research. *J Athl Train*, 39(3), 268-277.

- Pasquet, B., Carpentier, A., Duchateau, J. et Hainaut, K. (2000). Muscle fatigue during concentric and eccentric contractions. *Muscle Nerve*, 23(11), 1727-1735.
- Phillips, S. (2015). *Fatigue in sport and exercise*. : Routledge.
- Pincivero, D.M., Aldworth, C., Dickerson, T., Petry, C. et Shultz, T. (2000). Quadriceps-hamstring EMG activity during functional, closed kinetic chain exercise to fatigue. *Eur J Appl Physiol*, 81(6), 504-509. doi: 10.1007/s004210050075
- Pojkskic, H., Pagaduan, J.C., Babajic, F., Uzicanin, E., Muratovic, M. et Tomljanovic, M. (2015). Acute effects of prolonged intermittent low-intensity isometric warm-up schemes on jump, sprint, and agility performance in collegiate soccer players. *Biol Sport*, 32(2), 129-134. doi: 10.5604/20831862.1140427
- Poortmans, J.R. et Boisseau, N. (2009). *Biochimie des activités physiques et sportives*. : De Boeck Supérieur.
- Potteiger, J.A., Smith, D.L., Maier, M.L. et Foster, T.S. (2010). Relationship between body composition, leg strength, anaerobic power, and on-ice skating performance in division I men's hockey athletes. *J Strength Cond Res*, 24(7), 1755-1762. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e06cfb
- Power, G.A., Dalton, B.H., Rice, C.L. et Vandervoort, A.A. (2010). Delayed recovery of velocity-dependent power loss following eccentric actions of the ankle dorsiflexors. *J Appl Physiol (1985)*, 109(3), 669-676. doi: 10.1152/jappphysiol.01254.2009
- Purves, D. et Coquery, J.M. (2005). *Neurosciences: Avec CD-Rom Sylvius*. : De Boeck Supérieur.
- Quinney, H.A., Dewart, R., Game, A., Snyder, G., Warburton, D. et Bell, G. (2008). A 26 year physiological description of a National Hockey League team. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(4), 753-760. doi: 10.1139/H08-051
Récupéré de <http://dx.doi.org/10.1139/H08-051>
- Rahimi, R. (2007). The acute effects of heavy versus light-load squats in sprint performance. *Phy Ed Sport*(5), 163-169

- Renaud, J.M. et Light, P. (1992). Effects of K⁺ on the twitch and tetanic contraction in the sartorius muscle of the frog, *Rana pipiens*. Implication for fatigue in vivo. *Can J Physiol Pharmacol*, 70(9), 1236-1246.
- Requena, B., Saez-Saez de Villarreal, E., Gapeyeva, H., Ereline, J., Garcia, I. et Paasuke, M. (2011). Relationship between postactivation potentiation of knee extensor muscles, sprinting and vertical jumping performance in professional soccer players. *J Strength Cond Res*, 25(2), 367-373. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181be31aa
- Rixon, K.P., Lamont, H.S. et Bembien, M.G. (2007). Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance. *J Strength Cond Res*, 21(2), 500-505. doi: 10.1519/r-18855.1
- Robbins, D.W. (2005). Postactivation potentiation and its practical applicability: a brief review. *J Strength Cond Res*, 19(2), 453-458. doi: 10.1519/r-14653.1
- Rossi, A.E. et Dirksen, R.T. (2006). Sarcoplasmic reticulum: the dynamic calcium governor of muscle. *Muscle Nerve*, 33(6), 715-731. doi: 10.1002/mus.20512
- Sale, D.G. (2008). Neural Adaptation to Strength Training. Dans *Strength and Power in Sport* (p. 281-314) : Blackwell Science Ltd.
- Sandow, A., Taylor, S.R. et Preiser, H. (1965). Role of the action potential in excitation-contraction coupling. *Fed Proc*, 24(5), 1116-1123.
- Sargeant, A.J. (1987). Effect of muscle temperature on leg extension force and short-term power output in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 56(6), 693-698.
- Schiaffino, S. et Reggiani, C. (2011). Fiber types in mammalian skeletal muscles. *Physiol Rev*, 91(4), 1447-1531. doi: 10.1152/physrev.00031.2010
- Schmidtbleicher, D. et Haralambie, G. (1981). Changes in contractile properties of muscle after strength training in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 46(3), 221-228.
- Schuman, E.M. et Madison, D.V. (1991). A requirement for the intercellular messenger nitric oxide in long-term potentiation. *Science*, 254(5037), 1503-1506.

- Scott, S.L. et Docherty, D. (2004). Acute effects of heavy preloading on vertical and horizontal jump performance. *J Strength Cond Res*, 18(2), 201-205. doi: 10.1519/r-13123.1
- Setruk, D., Fery, Y., Ferry, A. et Rieu, M. (1995). Perception subjective de la fatigue musculaire: utilisation de l'échelle de Borg. *Science & sports*, 10(4), 209-210.
- Sewright, K.A., Hubal, M.J., Kearns, A., Holbrook, M.T. et Clarkson, P.M. (2008). Sex differences in response to maximal eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 40(2), 242-251. doi: 10.1249/mss.0b013e31815aedd
- Shellock, F.G. et Prentice, W.E. (1985). Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sports-related injuries. *Sports Med*, 2(4), 267-278.
- Shields, M. (2009). Questions de méthodologie en anthropométrie: taille et poids déclarés versus mesurés.x [recueil]. Symposium 2008 :Collecte des données : défis, réalisations et nouvelles orientations, p. 1-11.
- Shields, M., Tremblay, M.S., Laviolette, M., Craig, C.L., Janssen, I. et Gorber, S.C. (2010). *Condition physique des adultes au Canada: résultats de l'Enquête canadienne sur les mesures de la santé, 2007-2009*. : Statistique Canada.
- Shorten, M.R. (1987). Muscle elasticity and human performance. van Gheluwe B, Atha J (eds): *Current Research in Sports Biomechanics. Selected Topics*. Med Sport Sci. Basel, Karger, 1987, vol 25, pp 1-18 (DOI:10.1159/000414393)
- Silverthorn, D.U. et Brun, J.F. (2007). *Physiologie humaine: Une approche intégrée*. : Pearson.
- Slutsky, I., Abumaria, N., Wu, L.J., Huang, C., Zhang, L., Li, B., Zhao, X., Govindarajan, A., Zhao, M.G., Zhuo, M., Tonegawa, S. et Liu, G. (2010). Enhancement of learning and memory by elevating brain magnesium. *Neuron*, 65(2), 165-177. doi: 10.1016/j.neuron.2009.12.026
- Smith, C.E., Hannon, J.C., McGladrey, B., Shultz, B., Eisenman, P. et Lyons, B. (2014). The effects of a postactivation potentiation warm-up on subsequent sprint performance. *Human Movement*, 15(1), 36-44.

- Smith, J.C., Fry, A.C., Weiss, L.W., Li, Y. et Kinzey, S.J. (2001). The effects of high-intensity exercise on a 10-second sprint cycle test. *J Strength Cond Res*, 15(3), 344-348.
- Société canadienne de physiologie de l'exercice. Guide canadien pour l'évaluation de la condition physique et des habitudes de vie : approche de la SCPE pour une vie active et en santé (2003).
- Solinas, M., Ferre, S., You, Z.B., Karcz-Kubicha, M., Popoli, P. et Goldberg, S.R. (2002). Caffeine induces dopamine and glutamate release in the shell of the nucleus accumbens. *J Neurosci*, 22(15), 6321-6324. doi: 20026640
- Sperelakis, N. (2013). *Cell Physiology: Source Book*. : Elsevier Science.
- Stanula, A. et Rocznio, R. (2014). Game intensity analysis of elite adolescent ice hockey players. *J Hum Kinet*, 44, 211-221. doi: 10.2478/hukin-2014-0126
- Stanula, A., Rocznio, R., Maszczyk, A., Pietraszewski, P. et Zajac, A. (2014). THE ROLE OF AEROBIC CAPACITY IN HIGH-INTENSITY INTERMITTENT EFFORTS IN ICE-HOCKEY. *Biology of Sport*, 31(3), 193-199. doi: 10.5604/20831862.1111437 PMC. Récupéré de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4135063/>
- Staron, R.S. et Johnson, P. (1993). Myosin polymorphism and differential expression in adult human skeletal muscle. *Comp Biochem Physiol B*, 106(3), 463-475.
- Stienen, G.J., Roosemalen, M.C., Wilson, M.G. et Elzinga, G. (1990). Depression of force by phosphate in skinned skeletal muscle fibers of the frog. *American Journal of Physiology - Cell Physiology*, 259(2), C349-C357.
- Stone, M.H., Sands, W.A., Pierce, K.C., Ramsey, M.W. et Haff, G.G. (2008). Power and power potentiation among strength-power athletes: preliminary study. *Int J Sports Physiol Perform*, 3(1), 55-67.
- Suarez, L.M. et Solis, J.M. (2006). Taurine potentiates presynaptic NMDA receptors in hippocampal Schaffer collateral axons. *Eur J Neurosci*, 24(2), 405-418. doi: 10.1111/j.1460-9568.2006.04911.x

- Szczesna, D., Zhao, J., Jones, M., Zhi, G., Stull, J. et Potter, J.D. (2002). Phosphorylation of the regulatory light chains of myosin affects Ca²⁺ sensitivity of skeletal muscle contraction. *J Appl Physiol* (1985), 92(4), 1661-1670. doi: 10.1152/jappphysiol.00858.2001
- Tarnopolsky, M. et Cupido, C. (2000). Caffeine potentiates low frequency skeletal muscle force in habitual and nonhabitual caffeine consumers. *J Appl Physiol* (1985), 89(5), 1719-1724.
- Tesch, P.A. et Wright, J.E. (1983). Recovery from short term intense exercise: its relation to capillary supply and blood lactate concentration. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 52(1), 98-103.
- Thebault, N., Leger, L.A. et Passelergue, P. (2011). Repeated-sprint ability and aerobic fitness. *J Strength Cond Res*, 25(10), 2857-2865. doi: 10.1519/JSC.0b013e318207ef37
- Tillin, N.A. et Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Med*, 39(2), 147-166. doi: 10.2165/00007256-200939020-00004
- Toyoda, A. et Iio, W. (2013). Antidepressant-like effect of chronic taurine administration and its hippocampal signal transduction in rats. *Adv Exp Med Biol*, 775, 29-43. doi: 10.1007/978-1-4614-6130-2_3
- Tsolakis, C. et Bogdanis, G.C. (2012). Acute Effects of Two Different Warm-Up Protocols on Flexibility and Lower Limb Explosive Performance in Male and Female High Level Athletes. *J Sports Sci Med*, 11(4), 669-675.
- Verkhoshansky, Y., Siff, M.C. et Yessis, M. (2009). *Supertraining*. : Verkhoshansky.
- Vescovi, J.D., Murray, T.M., Fiala, K.A. et VanHeest, J.L. (2006). Off-ice performance and draft status of elite ice hockey players. *International journal of sports physiology and performance*, 1(3), 207.

- Waldron, M., Worsfold, P., Twist, C. et Lamb, K. (2011). Concurrent validity and test–retest reliability of a global positioning system (GPS) and timing gates to assess sprint performance variables. *Journal of sports sciences*, 29(15), 1613-1619.
- Wang, C.-C., Yang, M.-T., Lu, K.-H. et Chan, K.-H. (2016). The Effects of Creatine Supplementation on Explosive Performance and Optimal Individual Postactivation Potentiation Time. *Nutrients*, 8(3), 143. doi: 10.3390/nu8030143 *PMC*. Récupéré de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4808872/>
- Watson, R.C. et Sargeant, T.L. (1986). Laboratory and on-ice test comparisons of anaerobic power of ice hockey players. *Can J Appl Sport Sci*, 11(4), 218-224.
- Williams, A.M. (2013). *Science and Soccer: Developing Elite Performers*. : Routledge.
- Wust, R.C., Morse, C.I., de Haan, A., Jones, D.A. et Degens, H. (2008). Sex differences in contractile properties and fatigue resistance of human skeletal muscle. *Exp Physiol*, 93(7), 843-850. doi: 10.1113/expphysiol.2007.041764
- Yensen, C., Matar, W. et Renaud, J.M. (2002). K⁺-induced twitch potentiation is not due to longer action potential. *Am J Physiol Cell Physiol*, 283(1), C169-177. doi: 10.1152/ajpcell.00549.2001
- Yoon, T., Schlinder Delap, B., Griffith, E.E. et Hunter, S.K. (2007). Mechanisms of fatigue differ after low- and high-force fatiguing contractions in men and women. *Muscle Nerve*, 36(4), 515-524. doi: 10.1002/mus.20844