

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LA FENÊTRE TEMPORELLE OPTIMALE D'UN ENTRAÎNEMENT  
COMPLEXE POUVANT AMÉLIORER LES PERFORMANCES POST-  
ACTIVATION (PAPE) LE JOUR MÊME DE LA COMPÉTITION CHEZ LES  
JOUEURS DE HOCKEY ÉLITES

THÈSE

PRÉSENTÉE

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DU DOCTORAT EN BIOLOGIE

PAR

SÉBASTIEN LAGRANGE

FÉVRIER 2021

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de cette thèse 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

Il est naturel de remercier à la fin d'un tel travail tous ceux qui, plus ou moins directement, ont contribué à le rendre possible. C'est avec un enthousiasme certain que je profite de ces quelques lignes pour rendre hommage aux personnes qui ont participé à leur manière à la réalisation de cette thèse.

Tout d'abord un énorme merci à mon directeur de recherche Alain-Steve Comtois qui a su me diriger tout au long de ce projet et m'a permis d'être autonome tout au long de ce travail de recherche. Grâce à son soutien et à ses commentaires judicieux après la relecture de chacun des chapitres, j'ai pu mener à bien ce rêve que je chérissais depuis plusieurs années.

Mes remerciements vont aussi à mes frères et mes amis qui, avec cette question récurrente, « quand est-ce que tu la finis cette thèse? », bien qu'angoissante en période fréquente de doutes, m'ont permis de ne jamais dévier de mon objectif final.

À mes parents sans qui l'enfant que j'étais ne serait pas devenu l'homme que je suis, mais surtout à ma mère (correctrice des fautes d'orthographe de cette thèse!), sa présence et ses encouragements sont pour moi les piliers fondateurs de ce que je suis et de ce que je fais.

Mes derniers remerciements et non les moindres s'adressent à ma conjointe et maman de notre premier enfant Marie Michelle, qui pour mon plus grand bonheur partage ma vie et mes expériences professionnelles depuis plusieurs années. Elle est simplement le pilier de toutes mes constructions et la base de tous mes projets. Elle a su, tout au long de cette thèse, réfréner mes « ras-le-bol » et m'encourager dans ma voie. Elle est

la clef de ma réussite et sans elle à mes côtés, cette réalisation n'aurait pas la même saveur.

## DÉDICACE

À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices,  
Leur amour, leur soutien tout au long de mes études.  
À mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement.  
À ma conjointe pour son soutien tout au long de mon parcours universitaire.  
Que ce travail soit l'accomplissement, et le fruit de votre soutien infailible.  
Merci d'être toujours là pour moi.

## AVANT-PROPOS

Lors de mes deux dernières années juniors au hockey, mon préparateur physique, Mark Lambert, qui est depuis les dix 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 (2011) et en tant que préparateur physique, j'ai immédiatement utilisé cette méthode avec mes athlètes qui possédaient le plus d'expérience en entraînement. Ceux-ci ont aussi remarqué l'effet que cet entraînement avait sur leur performance si celui-ci était exécuté quelques heures avant la partie de hockey. C'est par la suite devenu pour eux une routine 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 une méthode qui permet d'obtenir une potentialisation par post-activation (PAP) démontrent clairement qu'elle est bénéfique. Le succès de cette méthode est la raison de cette thèse, une continuité de mes recherches lors de mon dépôt de mémoire en 2017. 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 .....	iii
AVANT-PROPOS .....	iv
LISTE DES FIGURES .....	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES .....	xiii
RÉSUMÉ .....	xvi
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE I PROBLÉMATIQUE.....	3
1.1 Introduction .....	3
1.2 Énoncé du problème .....	11
1.2.1 Le déconditionnement physique du hockeyeur.....	11
1.2.2 Pertinence pratique.....	12
1.2.3 Justification et importance de la recherche .....	13
1.3 Objectif de la recherche .....	14
1.3.1 Hypothèse générale de travail .....	14
1.3.2 Hypothèse de recherche spécifique.....	16
1.4 Variables.....	18

CHAPITRE II REVUE DE LA LITTÉRATURE .....	20
2.1 Les mécanismes physiologiques de la potentialisation (PAP.....	20

2.1.1	La phosphorylation des chaînes légères de myosine .....	20
2.1.2	L'activation neuromusculaire (réflexe-H) .....	21
2.1.3	L'adaptation neurologique à l'entraînement en résistance.....	23
2.2	Les facteurs pouvant affecter la PAP et la PAPE .....	25
2.2.1	L'influence de la fatigue musculaire sur la PAP .....	26
2.2.2	Types de contractions musculaires .....	27
2.2.3	L'étirement et la rigidité musculaire sur la PAP .....	29
2.3	Des nouveaux mécanismes pouvant expliquer la performance post-activation (PAPE) .....	30
2.3.1	La température musculaire.....	30
2.3.2	L'excitabilité rachidienne et la teneur en eau intramusculaire .....	30
2.4	Caractéristiques du sujet.....	31
2.4.1	L'âge et le sexe .....	31
2.4.2	Typologie des fibres musculaires et les pompes Na <sup>+</sup> K <sup>+</sup> .....	32
2.4.3	Le niveau d'entraînement de l'individu et le ratio de force relative .....	33
2.5	Type d'entraînement augmentant la PAP .....	35
2.5.1	Entraînement complexe (CT).....	44
2.5.2	La fenêtre temporelle entre l'entraînement AM et PM .....	47
2.5.3	L'influence du rythme circadien sur la performance d'une compétition .....	49
2.6	Analyse physiologique d'une présence au hockey sur glace.....	50
2.6.1	L'habileté des joueurs de hockey à répéter des sprints.....	51
2.6.2	Les prédicteurs hors-glace de performance sur la glace .....	53
CHAPITRE III MÉTHODOLOGIE .....		55
3.1	Les participants.....	55
3.1.1	Population et mode de sélection.....	55
3.1.2	Critères d'inclusion.....	57
3.1.3	Critères d'exclusion.....	57
3.1.4	Aspects déontologiques et consentement.....	57
3.2	Dispositifs de mesure hors-glace.....	58
3.2.1	Mesures anthropométriques .....	58
3.3	Les tests neuromusculaires .....	61
3.3.1	Le contre-mouvement (CMJ), squat jump (SJ).....	61
3.3.2	Le saut en longueur .....	63

3.3.3	Le ratio du taux d'utilisation excentrique (EUR) et efficacité du cycle-d'étirement raccourcissement (CER).....	64
3.3.4	L'indice de force réactive (RSI) .....	64
3.3.5	Le test de la force de préhension.....	66
3.4	Les tests sur glace .....	67
3.4.1	Le <i>Peterson on-ice repeated shift test</i> .....	67
3.4.2	La perception de l'effort (RPE).....	68
3.5	Entraînement complexe (CT) .....	70
3.5.1	La force relative de l'athlète .....	72
3.6	Schéma de l'expérimentation .....	72
3.6.1	Procédure expérimentale et déroulement du projet.....	73
3.6.2	Déroulement des tests .....	73
3.7	Devis statistiques .....	76
3.8	Limites du projet.....	76
CHAPITRE IV RÉSULTATS .....		78
4.1	Résultats des réponses physiques et physiologiques avant et après l'entraînement complexe (PAP) .....	78
4.1.1	Mesures anthropométriques .....	78
4.1.2	Caractéristiques des participants durant l'entraînement CT avant les tests physiques .....	79
4.1.3	Caractéristiques des sauts LJ, CMJ et SJ des participants .....	80
4.1.4	Caractéristiques du drop jump des participants .....	84
4.1.5	Caractéristiques du test de préhension (grip test) chez les participants..	86
4.1.6	Caractéristiques des sprints répétés chez les participants pré et post intervention.....	87
4.1.7	Caractéristique de l'entraînement d'avant match (N=1) entre chaque sujet étant son propre groupe contrôle.....	93
4.1.8	Caractéristique de l'entraînement d'avant match mixtes pour les deux groupes combinés ensemble.....	94
CHAPITRE V DISCUSSION.....		96
5.1	Justification des tests retenus pour la mesure des variables dépendantes .....	96
5.1.1	Les mesures anthropométriques.....	97
5.1.2	Le contre-mouvement jump (CMJ), squat jump (SJ) .....	98
5.1.3	Le saut en longueur .....	99

5.1.4	Le ratio du taux d'utilisation excentrique (EUR) et efficacité du cycle-d'étirement raccourcissement (CER).....	99
5.1.5	L'indice de force réactive (RSI) .....	100
5.1.6	Le test de la force de préhension.....	100
5.1.7	Le test sur glace .....	101
5.1.8	Le ratio de la force relative .....	102
5.2	Les mesures anthropométriques sur la performance .....	102
5.3	L'entraînement complexe (CT) .....	104
5.4	L'entraînement complexe (CT) sur la performance du saut en longueur .....	107
5.5	L'entraînement complexe (CT) sur la performance du SJ et CMJ .....	108
5.6	L'entraînement complexe (CT) sur la performance du drop jump .....	112
5.7	L'entraînement complexe (CT) sur la performance de la force de préhension .....	113
5.8	L'entraînement complexe (CT) sur la performance des sprints sur glace .....	115
5.9	L'entraînement complexe (CT) sur la performance des groupes combinés ....	119
5.10	Application pratique d'une journée typique d'une partie de hockey.....	120
LIMITATIONS.....		124
CONCLUSION.....		126
APPENDICE A CONSENTEMENT .....		128
APPENDICE B APPROBATION DU COMITÉ DE DÉONTOLOGIE .....		134
APPENDICE C ENTRAÎNEMENT COMPLEXE .....		135
APPENDICE D ACTIVATION PRÉ-ENTRAÎNEMENT ET PRÉ-TEST.....		136
APPENDICE E GRILLE DE COLLECTE DE DONNÉES .....		137
APPENDICE F FORMULES .....		140
BIBLIOGRAPHIE .....		141

## LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1.1 Courbe Force-Vitesse .....	3
1.2 L'historique des formes de potentialisation .....	5
1.3 Modèle de la relation entre la performance explosive, la PAP et la fatigue suite à une activité de post-activation.....	8
1.4 Modèle de la relation entre la PAP et la PAPE .....	10
2.1 Mécanisme proposé de la PAP.....	20
2.2 Réflexe de Hoffmann (H-réflexe) et de la réponse musculaire (onde M)...	22
2.3 Adaptations neuronales et musculaires à la musculation au fil du temps ...	24
2.4 Modèle des facteurs pouvant affecter les performances à la suite d'un entraînement PAP .....	26
2.5 Les causes possibles de la fatigue d'origine périphérique et centrale .....	28
2.6 Figure théorique de l'entraînement complexe .....	46
2.7 Contribution des systèmes énergétiques avec la durée du temps des sprints .....	52
3.1 Pèse personne Myweight MD-500 .....	58
3.2 Formules selon Allen et coll. Tel que modifié par Zwirren et coll. ....	59

3.3	Saut en hauteur avec le tapis de Bosco.....	62
3.4	L'installation du GymAware sur le tapis de Bosco.....	62
3.5	Le saut en longueur.....	63
3.6	G-Flight Set-up.....	64
3.7	Exemple de l'exécution du test Drop jump avec le G-Flight .....	65
3.8	Figure du seuil d'indice de force réactive pour le test du drop jump.....	66
3.9	Test de la force de préhension.....	66
3.10	Le <i>Peterson on-ice repeated shift test</i> .....	68
3.11	Installation du GymAware sur la Trap Bar Deadlift .....	71
4.1	Résultats du saut en longueur des participants pré et post intervention .....	82
4.2	Résultats du saut SJ et CMJ des participants pré et post intervention.....	83
4.3	Graphique des corrélations obtenues pour la section des sauts LJ, SJ et CMJ .....	84
4.4	Résultats pré et post intervention des huit sprints répétés sur glace des deux groupes.....	89
4.5	Temps total des 8 sprints répétés entre les groupes 8HPT et 4HPT.....	90
4.6	La vitesse moyenne (m/s) des 8 sprints linéaires de 40 mètres entre les groupes 8HPT et 4 HPT .....	91
5.1	Journée de match typique chez les joueurs de hockey et les stratégies possibles pour augmenter les performances .....	123

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
2.1 Résumé des études examinant l'amélioration neurale sur la PAP.....	23
2.2 Résumé des études examinant les caractéristiques des sujets et leur niveau d'entraînement .....	35
2.3 Tableau des études examinant les effets de divers protocoles PAP à la suite d'un squat jump.....	38
2.4 1 <sup>ère</sup> partie-Sommaire des études examinant les effets de divers protocoles PAP avec le CMJ.....	39
2.5 2 <sup>ème</sup> partie-Sommaire des études examinant les effets de divers protocoles PAP avec le CMJ .....	40
2.6 3 <sup>ème</sup> partie-Sommaire des études examinant les effets de divers protocoles PAP avec le CMJ .....	41
2.7 4 <sup>ème</sup> partie-Sommaire des études examinant les effets de divers protocoles PAP avec le CMJ .....	42
2.8 5 <sup>ème</sup> partie-Sommaire des études examinant les effets de divers protocoles PAP avec le CMJ .....	43
2.9 6 <sup>ème</sup> partie-Sommaire des études examinant les effets de divers protocoles PAP avec le CMJ .....	44
2.10 Sommaire des études examinant les effets de divers protocoles PAP avec le drop et depth jump.....	47

3.1	La localisation des plis cutanés .....	60
3.2	Exemple de la progression de la hauteur de la boîte d'un test drop jump...	65
3.3	Échelle de CR-10 de Borg .....	69
3.4	Échelle RPE à l'entraînement.....	69
3.5	L'entraînement complexe (CT).....	71
4.1	Caractéristiques anthropométriques des participants .....	79
4.2	Données recueillies durant l'entraînement complexe chez les participants des deux groupes .....	80
4.3	Résultats du LJ, SJ, CMJ et puissance déployée des participants combinés pré et post intervention.....	81
4.4	Résultats du test drop jump (cm), du temps de contact-CGT (millième seconde) et du RSI des participants combinés pré et post intervention .....	85
4.5	Test de la force de préhension de la main gauche et main droite des participants .....	86
4.6	Sprints répétés avec le test <i>Peterson on-ice</i> .....	88
4.7	Résultats pour le test de sprints répétés linéaires de 40 m sur glace et la vitesse moyenne (m/s) .....	92
4.8	Résultats entre les sujets (N=1) dans les groupes 8HPT et 4HPT.....	93
4.9	Résultats combinés pour les groupes 8HPT et 4HPT.....	95

## LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AM	Avant-midi
ANOVA	Analysis of variance
ATP	Adénosine triphosphate
ATPase	Enzymes adénosinetriphosphatase
ATP-Pcr	Adénosine triphosphate-phosphocréatine
C	Groupe contrôle
Ca <sup>2+</sup>	Calcium
CCHL	Central Canada Hockey League
CDKIN	Comité déontologie kinanthropologie
CER	Cycle d'étirement-raccourcissement
CERPE	Comités d'éthique de la recherche pour les projets étudiants
CMJ	Countermovement jump – saut contre-mouvement
CMV	Contraction maximale volontaire
CT	Complex training Entraînement complexe
DF	Diminution de fatigue
DJ	Drop jump
DXA	Dual-energy X-ray Absortionmetry Absorptiométrie biphotonique à rayons X
ECHL	East Coast Hockey League
EMG	Électromyogramme
ER6	Groupe entraînement 6 heures avant la compétition
É.T.	Écart type
EUR	Eccentric utilization ratio Ratio utilisation excentrique

FI	Indice de fatigue
GCT	Ground contact time Temps de contact au sol
H	Réflexe Hoffman – réflexe-H
K <sup>+</sup>	Potassium
LAH	Ligue américaine de hockey (AML)
LHJMQ	Ligue hockey junior majeur du Québec
LJ	Saut en longueur
LNH	Ligue Nationale de Hockey (NHL)
M	Réponse M
MHC	Chaîne lourde myosine
MLC	Chaîne légère myosine
MLC2	Chaîne légère myosine (2)
MOY	Moyenne
Na <sup>+</sup>	Sodium
O <sup>2</sup>	Oxygène (dioxygène)
PAP	Potentialisation post-activation
PAPE	Amélioration des performances par post-activation
PM	Après-midi
PPT	Potentialisation tétanique
RFD	Taux de développement de la force
RM	Répétition maximale
RPE	Rating of perceived exertion Perception à l'effort
RSA	Repeated sprint ability Capacité de réitération de sprint
RSI	Indice de force réactive
SJ	Saut statique
SNC	Système nerveux central (CNS)

SPPC(s)	Complexe de potentialisateurs force-puissance
TBD	Trap bar deadlift
UQAM	Université du Québec à Montréal
U SPORTS	Sports universitaire canadien
W	Puissance maximale
4HPT	4 heures avant les tests physiques 4 Hours Pre Test
8HPT	8 heures avant les tests physiques 8 Hours Pre Test

## RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude était de (a) déterminer les adaptations neurologiques et musculaires que pourrait apporter un entraînement complexe (CT) augmentant la performance post-activation (PAPE) quatre ou huit heures avant la compétition; (b) l'influence du temps écoulé entre l'entraînement et la compétition sur la performance des patineurs; (c) de développer une application pratique que les préparateurs physiques pourront utiliser pour mieux appliquer l'entraînement CT la journée d'une partie de hockey avec leurs athlètes.

Méthodes : Dix joueurs de hockey junior et professionnels ont été répartis au hasard en deux groupes égaux. Le premier groupe (8HPT) et le deuxième groupe (4HPT) effectuaient l'entraînement CT huit ou quatre heures, respectivement, avant des tests physiques. L'entraînement CT était composé de 3 séries de 5 RM (85% répétitions maximales) à l'aide du mouvement "Trap Bar Deadlift" avec un tempo lent de 4-1-X-1 avant d'effectuer 6 répétitions d'un saut sur une boîte de 50 cm de hauteur. Les athlètes ont eu 30 secondes de repos entre les deux exercices et quatre minutes de repos avant de recommencer une nouvelle série. Les pré-tests des tests physiques et les mesures anthropométriques ont été pris sur les deux groupes pour les comparer aux post-tests. Les effets neurologiques et ceux des PAPE, ont été déterminés à l'aide de tests évaluant la performance neuromusculaire de l'athlète pour démontrer si cet entraînement serait bénéfique ou non huit ou quatre heures avant une compétition. Le saut vertical, la puissance maximale (W) déployée, l'indice de force réactive (RSI), le saut en longueur, le drop jump, le ratio d'utilisation excentrique (EUR) et la force de préhension des mains (grip test) ont été effectués. Par ailleurs, la performance des joueurs de hockey a été déterminée par un test maximal sur glace, soit le "Peterson on-ice repeated shift test". La prise de la fréquence cardiaque et la perception à l'effort (RPE) a été enregistrées à la fin de chaque sprint. Les huit sprints d'une durée d'environ 23 secondes avec 90 secondes de repos entre chacun représentent des conditions spécifiques à une présence d'un joueur de hockey et ont été chronométrés à l'aide de "timing gates". Ces résultats ont été comparés aux résultats obtenus lors des pré-tests au début de l'expérimentation pour les deux groupes (8HPT) et (4HPT), pour démontrer si cet entraînement pourrait être bénéfique ou non avant une compétition.

Résultats : Il a été observé dans cette recherche qu'il y avait un impact significatif après un entraînement CT sur les résultats des sauts en longueur (8HPT;  $p=0,03$  et 4HPT;  $p=0,02$ ), du saut statique SJ (4HPT;  $p=0,04$ ), du test de préhension (8HPT;

$p=0,03$ ), sur le temps total des huit sprints (8HPT;  $p=0,01$ ), du temps des sprints 4, 5, 6, 8 (8HPT;  $p<0,05$ ) et des sprints 2, 3 (4HPT;  $p<0,05$ ), de la vitesse (m/s) des sprints sur une distance de 40 mètres 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 (8HPT;  $p<0,05$ ) et des sprints 2, 3, 4, 5, 6, 7 (4HPT;  $p<0,05$ ) et de la fréquence cardiaque (4HPT;  $p=0,02$ ). Toutefois, aucune différence n'a été observée après l'entraînement CT sur les sauts statiques SJ (8HPT;  $p=0,1$ ), le CMJ (8HPT;  $p=0,7$  ; 4HPT;  $p=0,11$ ) ni sur l'ensemble des drops jumps (8HPT et 4HPT ;  $p>0,05$ ).

**Conclusion :** Ce projet de recherche parvient à démontrer chez les joueurs de hockey ayant accompli un entraînement CT avant les tests physiques, une amélioration des performances post-activation (PAPE) sur la quasi-totalité des tests neuromusculaires et des sprints répétés sur glace. Afin d'optimiser les résultats, l'entraînement CT huit heures avant la compétition semble être la fenêtre temporelle optimale, comparativement à l'entraînement CT 4 heures avant la compétition.

**MOTS-CLÉS :** adaptations neurologiques, potentialisation post-activation (PAP), performance post-activation (PAPE), complexe de potentialisateurs force-puissance (SPPC), entraînement complexe (CT), taux de développement de la force (RFD), entraînement résistance, pliométrie, adaptation neuromusculaire, hockey, sprints répétés.

## ABSTRACT

The goal of this study was to study the post-activation performance enhancement (PAPE) and the optimal time window for complex training (CT) to increase ice-hockey players skating speed and fatigue. Ten professional ice-hockey players (Age= 19.8±1.23 years, Height= 1.8± 0.06 m Weight= 83.37±4.79 Kg,) from the American Hockey League (AHL, n=7) and the National Hockey League (NHL, n=3) were assigned randomly into one of two groups after the pre-test session. The first group following the 8 hours pre-testing CT post-activation potentiation (PAP) training protocol and the second group 4 hours pre-testing CT PAP training protocol. The CT PAP training protocol consisted of 3 sets of 5 repetitions of trap high bar deadlifts superset (15 sec rest) with 6 box jumps on a 20 inch plyometric box. The effects of PAPE on performance was measured with the Countermovement Jump (CMJ), the Static Squat Jump (SSJ), the Stationary Broad Jump (SBJ), Reactive Strength Index (RSI=jump height/ground contact time), Eccentric Utilization Ratio (EUR=CMJ/SSJ), the double leg incremental Drop Jump tests (30, 45, 60 and 75cm ) (DJ), the Grip Test (GT), the Peterson On-Ice repeated shift Test (POIT), Peak Heart Rate immediately after each sprint (PHR) and Rated Perceived Exertion immediately after each sprint (RPE). Results showed between groups a significant improvement difference after CT in the SJ (4HPT:  $p= 0.04$ ), BJ (8HPT:  $p= 0.02$ ; 4HPT:  $p=0.03$ ), GT-left hand (8HPT:  $p= 0.03$ ), POIT (8HPT: Sprint 4, 5, 6, 8:  $p<0.05$ ; 4HPT: Sprint 2, 3:  $p<0.05$ ), POIT total sprint time (8HPT:  $p= 0.01$ ), mean 40 meter sprint time (8HPT: Sprint 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 8:  $p<0.05$ ; 4HPT: Sprint 2, 3, 4, 5, 6 and 7:  $p<0.05$ ), mean 40 meter sprint speed (m/s) (8HPT and 4HPT: Sprint 2  $p= 0.03$ ) and MHR (4HPT:  $p= 0.02$ ). However, no significant difference ( $p\geq 0.05$ ) was found after CT in the CMJ, DJ and RPE. Thus, the present study suggests that PAPE has a greater effect on jumping and on ice-hockey repeated sprint performance when completed 8 hours before. Although CT PAP training protocol might be beneficial to improve rate of force development and performance when performed more than 4 hours before the competition in professional north-American ice-hockey players. The present protocol and timing window can be utilized by strength and conditioning specialists to improve repeated sprint and jumping performance of professional ice-hockey players.

Keywords: Contrast Training; Pre-Game Training; Resistance Training; Skating Speed; Rate of Force Development (RFD), On-Ice Sprint, Acceleration, Repeated Sprint

## 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 continuellement à la recherche d'une technique d'entraînement qui pourrait augmenter 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 musculaire, 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 de la vitesse et utiliser des méthodes d'entraînement adaptées aux besoins des joueurs. Or, les scientifiques du sport et les préparateurs physiques de haute performance passent la majorité de la saison à s'assurer que leurs stratégies d'entraînements et de récupération sont appropriées pour s'assurer d'obtenir une performance optimale avec leurs athlètes le jour de la compétition. Il y a plusieurs stratégies qui servent à augmenter la performance et qui pourraient être appliquées le jour même, mais plusieurs professionnels négligent cette option probablement en lien avec un manque de connaissances. L'une des stratégies étant les adaptations neurologiques suite à une pré-sollicitation musculaire ou, en d'autres termes, une potentialisation par post-activation (PAP) ou par l'effet d'une performance post-activation (PAPE) qui fait surface comme l'un des moyens d'augmenter la puissance développée par un athlète très rapidement (Alves *et al.*, 2019; Blazeovich *et al.*, 2019). Ce phénomène décrit par Robbins (Robbins, 2005) et utilisé en premier par (Burke *et al.*, 1976), amènerait une stimulation très élevée du système nerveux, qui se solde en une amélioration du recrutement des unités motrices et de la force musculaire.

D'autre part, de plus en plus de recherches sont dirigées sur l'entraînement complexe. 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 exercice avec des charges lourdes (80% 1RM) accompagné d'un exercice pliométrique serait la plus avantageuse afin d'obtenir des résultats rapides et optimaux sur la PAP (Comyns *et al.*, 2010). Ainsi, l'entraînement complexe, qui consiste à utiliser des charges lourdes avant un exercice d'explosion et de puissance tel que la pliométrie, pourrait augmenter la PAP et agir bénéfiquement sur la PAPE et améliorer la performance de l'athlète le jour même de la compétition (Lesinski *et al.*, 2014). Dans ce projet, nous nous interrogerons grandement sur le phénomène de la PAP, surtout l'aspect temporel de son application, pour mieux en comprendre les retombées sur la PAPE. En quoi consiste-t-il? Quels sont les facteurs qui causent les effets neurologiques et la potentialisation? Quelle est la durée de celle-ci? Comment peut-on appliquer les recherches scientifiques et les mettre en pratique? Nous allons tenter d'identifier et de trouver des réponses à ces questions afin de pouvoir bien comprendre et d'expliquer clairement ce phénomène pour 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, un cadre théorique et une recension des écrits scientifiques exhaustive centrés sur notre sujet composent le cadre conceptuel et nous permettront de mettre en lien nos objectifs spécifiques. Subséquemment, nous évaluerons la question de recherche qui nous intéresse dans le cadre de ce projet et nous présenterons nos hypothèses de travail. Puis, en ce qui concerne la méthodologie, nous présenterons entre autres le déroulement et l'exécution des tests physiques de ce projet en lien avec la littérature scientifique 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. Les exigences physiques associées aux tâches des joueurs de hockey sont multiples et demandent plusieurs qualités différentes telles que force, vitesse, puissance, agilité, souplesse et équilibre. De plus, le hockey, un sport caractérisé par des présences courtes d'une très grande intensité, sollicite un certain nombre de systèmes énergétiques variés et complexes tels que les capacités anaérobique (ex : les sprints sur glace répétés) et la puissance aérobie (ex : la récupération entre les présences sur glace). Il reste que la puissance musculaire est l'un des facteurs les plus importants, puisque les actions exigent une haute vitesse d'exécution et l'athlète doit être en mesure de produire une grande force avec une vitesse de contraction rapide. De ce fait, les préparateurs physiques doivent insister sur des déterminants physiologiques de la force-vitesse et utiliser des méthodes d'entraînement adaptées aux besoins des joueurs.

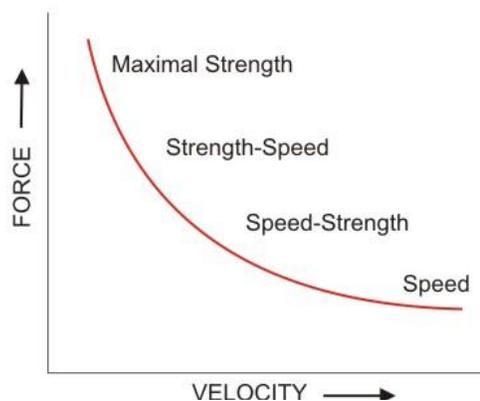


Figure 1.1 Courbe Force-Vitesse (Billaut *et al.*, 2009)

De nos jours, plusieurs méthodes et protocoles d'entraînements existent pour augmenter la force, la vitesse et la puissance chez les sportifs. L'une des stratégies les plus utilisées est l'entraînement en résistance. À l'heure actuelle dans la littérature, pour maximiser les adaptations de la force musculaire, des charges supérieures à 80 % du 1RM sont nécessaires (Fry, 2004). De même, le « continuum des RM » affirme que les gains en force maximale sont optimaux avec des charges lourdes de 1-5 RM comparativement à un entraînement avec des charges légères (Schoenfeld *et al.*, 2017). D'autre part, une autre méthode très populaire, soit la pliométrie, a démontré qu'elle peut augmenter la puissance musculaire et la force déployée 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). Tel que l'indique la figure 1.1, la pliométrie dans un programme d'entraînement permet de diminuer l'écart entre la force entraînée et la puissance déployée d'un athlète selon la courbe force-vitesse (Markovic, 2007).

Dans les sports tels que le hockey sur glace, il est donc important de tenir compte du taux de développement de la force (RFD). Celle-ci fait référence à la vitesse à laquelle la force musculaire peut être produite. Le RFD est le plus important dans les sports rapides qui ont une durée de production de force entre 100 et 300 ms, plutôt que la force maximale qui, quant à elle, est un facteur important dans les sports plus lents soit plus de 300ms (Wilson *et al.*, 1995). De plus, il a été démontré que la force maximale et le RFD pouvaient être améliorés grâce à la potentialisation par post-activation (French *et al.*, 2003).

Récemment, les termes "amélioration des performances par post-activation (PAPE) (Blazevich *et al.*, 2019; Cuenca-Fernández *et al.*, 2017)" et "Complexe potentialisateurs de force-puissance (SPPCs) (Robbins, 2005; Stone *et al.*, 2008; Turner *et al.*, 2017)", autrement connus sous le nom de PAP, deviennent de plus en

plus populaires comme termes et méthodes pour augmenter rapidement la performance d'un athlète à court terme. De nombreuses formes de potentialisation ont été décrites dans les muscles humains (figure 1.2). La potentialisation post-activation (PAP) ou la potentialisation-tétanique (PPT) réfère à des phénomènes par lesquels les caractéristiques de performance musculaire sont fortement renforcées par les caractéristiques et l'historique contractile du muscle ciblé (Hodgson *et al.*, 2005; Robbins, 2005). La différence entre la PAP et la PPT est définie par la nature de la contraction musculaire. LA PPT est induite par une contraction tétanique involontaire (stimulation neuromusculaire) (Tillin *et al.*, 2009), et la PAP est induite par une contraction volontaire (Sale 2004) réalisée typiquement à une intensité maximale ou quasi maximale. Bien que la plupart des recherches sur ce phénomène aient émergé au cours de la dernière décennie (Farup *et al.*, 2010), les premières recherches remontent jusqu'au milieu du XXe siècle (Verkhoshansky 1966). De plus, la présence de la PAP dans le muscle squelettique a été enregistrée dans de nombreuses études autant chez les mammifères que chez les humains (Manning *et al.*, 1982; Moore *et al.*, 1984), ce qui a suscité une discussion parmi les articles récents sur les mécanismes de la PAP (Hodgson *et al.*, 2005; Robbins, 2005; Tillin *et al.*, 2009), et de son application dans la performance sportive (Docherty *et al.*, 2007; Sale 2002).

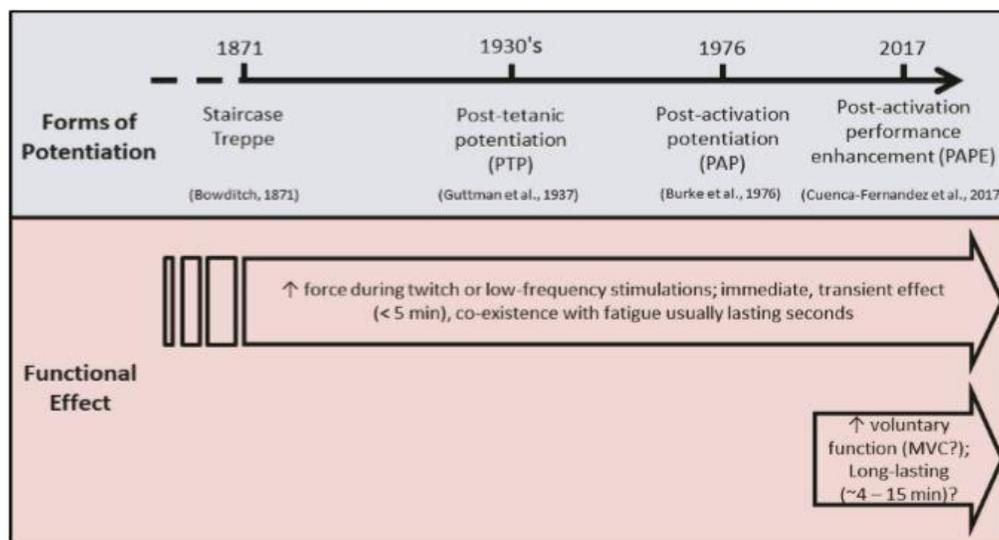


Figure 1.2 L'historique des formes de potentialisation tiré de l'article (Cuenca-Fernández *et al.*, 2017)

La PAP étant un phénomène physiologique dans lequel des séries intenses de contractions musculaires volontaires typiquement effectuées à l'aide de mouvement lourd (80% 1RM back squat) produisent des augmentations temporaires (Sale 2002) de la force maximale et de la puissance lors des activités explosives subséquentes (Lesinski *et al.*, 2013). En d'autres termes, l'excitation du système nerveux produit une augmentation de la contractilité du muscle et une amélioration du recrutement des unités motrices qui se solde en une amélioration de la force musculaire (Rixon *et al.*, 2007). Bien que les composantes physiologiques exactes qui pourraient contribuer à cette réponse soient encore débattues, plusieurs mécanismes pourraient être attribués à cette forme de plasticité synaptique à court terme, qui se rapporte toute à une stimulation accrue du système nerveux central. L'une des théories semblerait que les contractions musculaires intenses produisent une phosphorylation des chaînes légères de myosine (Hamada *et al.*, 2000), augmentant ainsi la sensibilité des filaments d'actine et de myosine au calcium (Grange *et al.*, 1993). Ceci, à son tour, crée des contractions plus fortes, car il y aurait une plus grande réponse au calcium libéré pendant le processus de contraction (Tillin *et al.*, 2009). Une deuxième théorie, basée sur la précédente, soit sur l'idée que les contractions musculaires intenses induisent une plus grande quantité de calcium libéré dans le myoplasme par le potentiel d'action augmentant ainsi la force et les contractions suivantes du muscle dû à une concentration calcique myoplasmique plus élevée (recaptage partiel du calcium par le réticulum sarcoplasmique) et une activation neuromusculaire (Güllich *et al.*, 1996) qui augmenterait le nombre d'unités motrices recrutées (Purves *et al.*, 2005). Une troisième théorie, fondée sur des mécanismes proprioceptifs impliquant le réflexe Hoffmann (H-Reflex), suggère qu'une charge lourde antérieure pourrait augmenter l'activation du fuseau musculaire, conduisant à une augmentation de la décharge des fibres sensorielles de type Ia (Hodgson *et al.*, 2005). Cela conduirait à une augmentation de l'excitabilité des motoneurones alpha et conduirait à une

augmentation de l'innervation des fibres musculaires extrafusales (situé à l'intérieur des fuseaux neuromusculaires) (Palmieri *et al.*, 2004).

Bien que la potentialisation par post-activation (PAP) soit une technique d'entraînement relativement nouvelle, de nombreuses études ont étudié son efficacité et ont exploré des variations d'entraînement et des protocoles qui pourraient maximiser cette forme de plasticité synaptique à court terme (figure 1.3) (Tillin *et al.*, 2009). Une étude de Chatzopoulos *et al.* (2007), a démontré que l'exécution de 10 séries d'une répétition maximale d'un squat à 90 % du 1RM effectuée 5 minutes avant des sprints de 10 et de 30 mètres augmentait la vitesse de course des participants (Chatzopoulos *et al.*, 2007). Une étude similaire a montré que l'exécution d'une seule série de 3 répétitions de "back squat" avec une charge maximale de 3RM (au-dessus de 87 % du 1RM) augmentait la hauteur du saut vertical et produisait des améliorations de puissance musculaire déployée lorsqu'elle était effectuée 4 à 8 minutes avant le saut vertical. Une étude récente a rapporté une amélioration de la performance post-activation (PAPE) à l'aide du nombre de répétitions exécutées sur le bench press 10 minutes plus tard à la suite d'une série de trois répétitions à plus de 80% 1RM sur le même exercice (Alves *et al.*, 2019). Par ailleurs, d'autres recherches n'ont démontré aucune augmentation de la performance. L'une d'elles suggère que l'exécution d'un back squat à 90 % 1RM 4 minutes avant 7 sprints répétés de 30 mètres chez les joueurs de rugby amènerait une fatigue plus importante que les effets potentialisateurs et diminuerait la performance (Duncan *et al.*, 2014). Une autre étude a démontré qu'une série de 5RM n'a produit aucune amélioration sur la hauteur du saut et la force de réaction au sol mesuré par une plateforme de force (Jensen *et al.*, 2003). De plus, Scott *et al.* (2004) ont démontré dans leur recherche qu'après l'exécution d'un squat de 5RM, aucune différence significative n'avait été décelée sur la performance des sauts horizontaux et du saut en hauteur lors des quatre séances d'entraînement. Les facteurs émis par les chercheurs pouvant être à la base des

divergences des résultats de recherche peuvent être liés à des différences dans les protocoles et procédures expérimentales, de par le manque de familiarisation des sujets face à un entraînement complexe (force-vitesse), le type et l'intensité de l'exercice choisi et l'activité de pré-sollicitation de force qui n'était pas assez similaire à l'exercice de puissance au niveau biomécanique (Scott *et al.*, 2004). Bref, une multitude de facteurs semble affecter les résultats des performances de la PAPE, et ceux-ci seront abordés dans la section de la revue de la littérature.

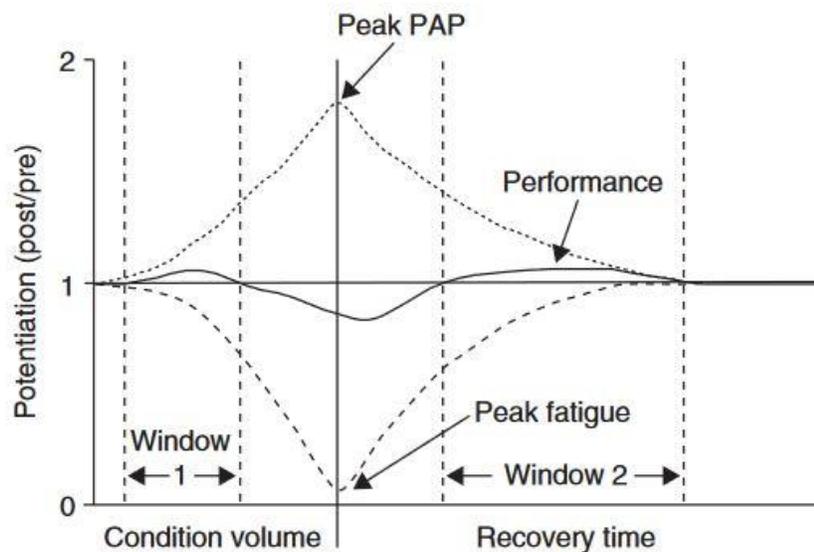


Figure 1.3 Modèle de la relation entre la performance explosive, la PAP et la fatigue suite à une activité de post-activation (Tillin et Bishop, 2009) (Suite à la pré-sollicitation avec le volume adéquat, une fenêtre s'ouvre pour nous permettre de bénéficier des effets de la PAP. Par contre, un volume trop élevé mène à une apparition de la fatigue et diminue la performance)

D'un autre côté, les exercices balistiques à eux seuls peuvent également augmenter le phénomène de la potentialisation. La recherche de Hilfiker *et al.* (2007) a démontré une augmentation de 2,2 % de la puissance moyenne pour les sauts à contremouvement (CMJ), après avoir effectué cinq drops jump (saut en contre bas avec rebond) de 60 centimètres chez des skieurs alpins élités (Hilfiker *et al.*, 2007). Alors que les travaux de Terzis *et al.* (2009) ont signalé une augmentation de 4,6 % de la distance au lancer du poids, immédiatement après cinq drops jump de 40 centimètres

chez les sujets de niveau intermédiaire (Terzis *et al.*, 2009). L'étude de Bomfim *et al.* (2011), a démontré une amélioration de 6% du saut en hauteur et du saut à contremouvement (CMJ), et une diminution de 2,7 % au temps de sprint de 50 mètres après deux séries de cinq drop jumps d'une hauteur de 75 centimètres et d'un repos de 3 minutes avant les sprints (Bomfim Lima *et al.*, 2011). Donc, il existe une multitude d'études qui démontrent un effet d'amélioration de la performance suite à des exercices balistiques. Toutefois, il reste que la méthode la plus utilisée par les préparateurs physiques pour exploiter la PAP est par l'entraînement complexe. L'entraînement complexe (CT-*complex training*) est une méthode qui consiste à compléter un exercice de résistance suivi d'un exercice balistique qui partage la même biomécanique et cible le même groupe musculaire (Comyns *et al.*, 2010). Ce complexe potentialisateurs de force-puissance (SPPC) donne l'impression à l'athlète d'avoir une plus grande facilité en alternant des charges lourdes et des charges légères et serait donc plus efficace pour augmenter la PAP (Maio Alves *et al.*, 2010; Turner *et al.*, 2017). Malgré une considérable quantité de recherche au cours des 10 dernières années, il semblerait qu'il y ait encore beaucoup de recherche à faire pour déterminer pleinement la durée de la PAPE et de ces effets neurologiques vis-à-vis la PAP. La majorité des études ont démontré que la durée de la potentialisation par post-activation (PAP) peut durer entre 5-30 minutes (Alves *et al.*, 2019; Edwards *et al.*, 1977; Gouvea *et al.*, 2013; Güllich *et al.*, 1996; Hodgson *et al.*, 2005; Kilduff *et al.*, 2008; Robbins, 2005; Wilson *et al.*, 2013). Par contre, d'autres études ont démontré que ses effets neurologiques à une performance post-activation (PAPE) pourraient durer entre 6 et 24 heures (figure 1.4) (Bompa *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2011; Chiu *et al.*, 2004; Ekstrand *et al.*, 2013; González-Badillo *et al.*, 2016; Lagrange *et al.*, 2020; Raastad *et al.*, 2000; Tsoukos *et al.*, 2018). Reste qu'il ressort de la recherche de nombreux facteurs devant être pris en compte lorsque nous tentons d'appliquer la PAP et la performance post-activation (PAPE) à un athlète. En dépit de sa popularité actuelle, seule l'étude de Lagrange *et al.* (2020), a examiné l'efficacité d'un

entraînement contraste la journée d'une compétition chez les joueurs hockey (Lagrange *et al.*, 2020). Par conséquent, l'objectif du présent projet était d'évaluer les effets d'un entraînement complexe ayant pour but d'augmenter la performance post-activation (PAPE) et de déterminer la durée des effets neurologiques si l'entraînement était exécuté quatre ou huit heures avant une compétition chez des joueurs de hockey. Le rationnel du choix de la fenêtre temporelle entre l'entraînement AM et la performance PM n'est bâti que par l'expérience des haltérophiles bulgares dans les années 1970, le fondateur Ivan Abadjiev, qui sera expliqué au courant de la thèse (Roman, 1974). De plus, ces deux fenêtres temporelles sont les seules possibilités où un joueur de la LNH pourrait effectuer un entraînement PAP d'avant-match considérant leur routine qui sera expliqué dans le tableau 5.1 à la p.115 (Journée de match typique chez les joueurs de hockey). Pour la suite de la thèse, nous utiliserons le terme potentialisation par post-activation avec l'acronyme PAP, pour désigner les augmentations des forces de contractions évoquées par la pré-sollicitation musculaire, et nous utiliserons le terme amélioration des performances post-activation avec l'acronyme PAPE, pour faire référence à l'augmentation de la production de la force volontaire suite à l'activité musculaire antérieure. Cette distinction est importante comme nous le verrons dans le présent projet, puisque les mécanismes qui expliquent la durée de leurs effets et les avantages pratiques peuvent varier.

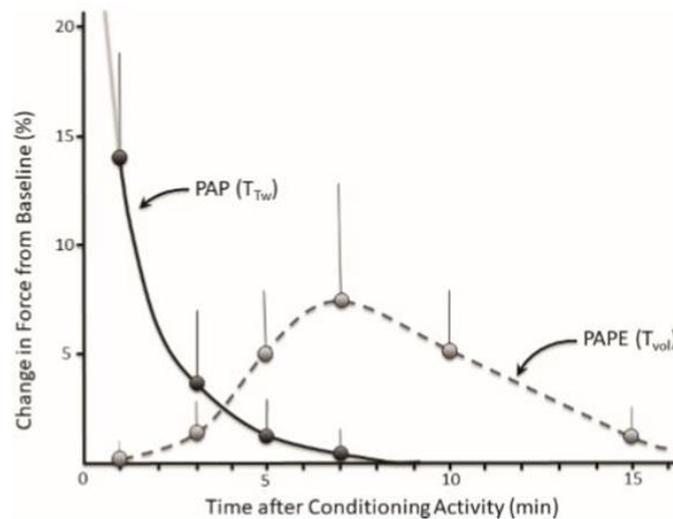


Figure 1.4 Modèle de la relation entre la PAP et la PAPE tiré de l'article (Blazevich *et al.*, 2019)

## 1.2 Énoncé du problème

### 1.2.1 Le déconditionnement physique du hockeyeur

Contrairement à d'autres sports, la période d'entraînement estivale au hockey n'est que de 12 semaines, ce qui laisse aux athlètes une très courte période de temps pendant laquelle ils doivent développer des qualités musculaires optimales en préparation de la prochaine saison. De plus, le calendrier des déplacements et des parties des équipes de la LNH pendant la saison pose un défi supplémentaire pour les préparateurs physiques, permettant parfois à l'équipe de ne s'entraîner qu'une fois par semaine sans nécessairement avoir recours à un équipement d'entraînement optimal dû aux restrictions du voyage. Ceux-ci imposent un stress physiologique continu aux athlètes et laissent peu de temps à la récupération, ce qui peut causer une fatigue et affecter la condition physique. De ce fait, l'étude de Green et al. (2012), a étudié les réponses cellulaires des muscles squelettiques pendant une saison de hockey sur glace et ils ont démontré que les muscles des joueurs s'atrophiaient pendant les saisons, causés par le court laps de temps de récupération entre les parties et les entraînements (Green *et al.*, 2012). Le déconditionnement semble être une problématique chez les joueurs de hockey et est causé par les pertes partielles ou totales des adaptations induites par l'entraînement en résistance, en réponse à un stimulus d'entraînement insuffisant (Mujika, I. *et al.*, 2000). Plusieurs conséquences sont liées au déconditionnement induit par une période d'entraînement en résistance insuffisante (Mujika, Iñigo *et al.*, 2000) durant une saison de hockey, telles que la perte de masse musculaire (Prokop *et al.*, 2016), le surentraînement (Halson *et al.*, 2004), le changement de l'utilisation d'énergie du muscle (Green *et al.*, 2012) et les changements adaptatifs dans les systèmes énergétiques (Green *et al.*, 1975). Les préparateurs physiques doivent donc travailler autour de ces défis pour garder leurs

athlètes physiquement prêts pour les exigences de la meilleure ligue de hockey sur la planète, la LNH.

### 1.2.2 Pertinence pratique

Dans la dernière décennie, la condition physique des joueurs de hockey ne cesse de s'améliorer et permet à ceux-ci d'atteindre les plus hauts standards à un plus jeune âge (Delisle-Houde *et al.*, 2019; Montgomery, 2006; Quinney *et al.*, 2008; Rocznik *et al.*, 2016). Selon les données du site de la LNH, en 2019-2020, seulement un patineur sur dix avait plus de 32 ans ce qui représente le pourcentage le plus bas de l'histoire de la LNH. La popularité de l'entraînement en résistance pourrait résumer l'évolution de ces tendances chez les joueurs de hockey. 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 PAP est une méthode d'entraînement qui nous permet d'optimiser la puissance musculaire déployée (RFD) et qui est fondamentale dans la performance de tous les sports d'explosion (Mola *et al.*, 2014). Ses bienfaits ont été démontrés plusieurs fois au niveau du gain de force, de la puissance et de l'accélération chez les athlètes (Hodgson *et al.*, 2005; Robbins, 2005). Néanmoins, la majorité des études s'entendent sur une courte fenêtre temporelle (8-30 minutes) suivant immédiatement une contraction maximale volontaire (CMV) (Folland *et al.*, 2008; Güllich *et al.*, 1996; Trimble *et al.*, 1998), mais ne prennent pas en compte la contribution neurologique de cet entraînement qui pourrait prolonger la réponse globale de la PAPE de plusieurs heures. De plus, plusieurs études se basent simplement sur un sprint entre 5 et 40 mètres pour déterminer l'efficacité de la PAP sans prendre en considération que ce phénomène pourrait améliorer d'autres aspects physiologiques et neuromusculaires chez les athlètes. (Bevan *et al.*, 2010; Chatzopoulos *et al.*, 2007; Matthews *et al.*, 2010; Tsimachidis *et al.*, 2013). De ce

fait, que le hockey soit un sport intermittent à haute intensité et d'enchaînements de contractions musculaires explosives, ce sport requiert néanmoins une bonne condition anaérobie du joueur pour lui permettre de répéter plusieurs fois des sprints de courte distance lors de ses présences sur la glace (MacDougall *et al.*, 1977). Bref, il est donc important de valider l'inclusion d'un programme d'entraînement complexe quelques heures avant la compétition ayant pour but d'augmenter la PAP et son effet neurale sur un parcours correspondant à une présence sur la glace d'un joueur de hockey et non simplement sur un sprint de 5 ou 40 mètres.

### 1.2.3 Justification et importance de la recherche

Cette étude conduira à une meilleure compréhension de l'adaptation de l'effet neurologique sur la PAP et un meilleur approfondissement des connaissances sur l'effet de la potentialisation sur la performance physique des athlètes et plus spécifiquement chez les joueurs de hockey. Le rôle des préparateurs physiques pendant la saison est de prévenir les blessures musculo-squelettiques, de maintenir la masse musculaire et, primordialement, d'appliquer des méthodes d'entraînement efficaces de courte durée (horaire de saison chargé pour les athlètes) afin d'améliorer la performance des athlètes au cours de la saison. En fait, la périodisation ou l'application inadéquate des paramètres d'entraînement tels que la sélection de l'exercice, le nombre de répétitions, le tempo, le temps de repos et le nombre de séries peuvent diminuer grandement leur rendement lors des parties. De plus, l'approche PAPE proposée pourrait permettre de contrer le déconditionnement au courant de la saison chez les joueurs de hockey en permettant aux préparateurs physiques d'obtenir une fenêtre supplémentaire pour entraîner leurs athlètes. Un approfondissement supplémentaire de la littérature scientifique concernant la PAP à la suite du mémoire de ma maîtrise en kinanthropologie, (Lagrange 2018) qui a précédé ce projet permettra de mieux maîtriser les variables et de nous assurer d'un

accroissement de leur performance. Cette recherche permettra aux préparateurs physiques d'ajuster leur pratique en utilisant ce type d'entraînement afin d'augmenter la performance de leurs athlètes avant une partie ou un évènement 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.

### 1.3 Objectif de la recherche

La présente étude veut mesurer l'impact d'un entraînement complexe (CT), augmentant la performance post-activation (PAPE), effectuée quatre ou huit heures avant la compétition et l'effet que celui-ci aura sur des tests physiques neuromusculaires en évaluant la force-vitesse et la puissance déployées des membres inférieurs (Saut vertical avec et sans élan et le saut en longueur), le temps de contact au sol (le drop jump et l'indice de force réactive), la force musculaire (Grip test) et des tests sous-maximaux que représentent une présence sur glace et qui permettront de mesurer la vitesse de patinage (Peterson on-ice test et des sprint de 40m sur glace).

#### 1.3.1 Hypothèse générale de travail

**H<sub>1</sub>** : L'entraînement CT quatre ou huit heures avant les tests physiques améliorera la performance aux tests physiques neuromusculaire de l'athlète.

De nombreuses études ont montré une augmentation du niveau d'activation musculaire, mesuré par des EMG de surface, après un entraînement en force (Aagaard *et al.*, 2002; Duchateau *et al.*, 2003; Enoka, 1995; Gruber *et al.*, 2007; Knight *et al.*, 2001) et plusieurs études ont démontré qu'après un entraînement PAP, une stimulation du système nerveux améliorerait le recrutement des unités motrices, de la force musculaire, du taux de développement de la force (RFD), de l'augmentation

des propriétés contractiles du muscle et de l'efficacité neuromusculaire de l'athlète (Burger, 1999; Docherty *et al.*, 2007; Hodgson *et al.*, 2005; Mohar *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2008; Verkhoshansky *et al.*, 2009). Grâce à cette adaptation neurologique, plusieurs études ont démontré à l'aide du réflexe-H (Güllich *et al.*, 1996; Trimble *et al.*, 1998) l'augmentation de la performance des sauts suite à un entraînement de back squat (Bompa *et al.*, 2015; Chiu *et al.*, 2004; Gourgoulis *et al.*, 2003; Güllich *et al.*, 1996; Kilduff *et al.*, 2008; Raastad *et al.*, 2000; Turner *et al.*, 2017; Young, 1993) et à l'augmentation des sprints et des sauts (Beato *et al.*, 2019; Bechtel *et al.*, 2018; Duncan *et al.*, 2014; Linder *et al.*, 2010; Seitz *et al.*, 2016; Smith *et al.*, 2001; Suchomel *et al.*, 2016; Suchomel *et al.*, 2016; Suchomel *et al.*, 2016; Suchomel *et al.*, 2016; Tsimachidis *et al.*, 2013). De plus, quelques études ont déjà démontré une amélioration des performances chez des athlètes à la suite d'un entraînement quelques heures avant la compétition (Bompa *et al.*, 2015; Cook *et al.*, 2014; Kilduff *et al.*, 2013; Lagrange *et al.*, 2020). En effet, Ekstrand *et al.* (2013) a démontré qu'un entraînement en résistance six heures avant (AM) qui consistait d'un back squat effectué jusqu'à épuisement musculaire et d'un exercice d'haltérophilie soit le power clean, améliorait la distance parcourue du lancer du poids chez des athlètes élités (Ekstrand *et al.*, 2013). De plus, une amélioration de la performance (PM) a été observée lorsque des joueurs de rugby effectuaient six heures avant des sprints (5 x 40 mètres) sur les résultats de la puissance développée du sprint de 40 mètres, d'un développé couché 3RM et d'un squat (Cook *et al.*, 2014). Du même point de vue, l'étude de Russell *et al.* (2015) a comparé l'efficacité de plusieurs méthodes exécutées en AM sur les performances PM, effectuées cinq heures avant ceux-ci et la majorité des études ont été en mesure d'améliorer les performances des sprints et des sauts (Russell *et al.*, 2015).

### 1.3.2 Hypothèse de recherche spécifique

**H<sub>2</sub>** : La performance des sauts et le ratio de la force relative de l'athlète agira proportionnellement sur la performance post-potentialisation (PAP) sur les résultats obtenus quatre et huit heures après l'entraînement CT.

La composition du type de fibres musculaires d'un individu joue un rôle primordial pour connaître s'il sera en mesure d'augmenter la performance suite à une pré-sollicitation pour élever la potentialisation. Plusieurs études ont démontré une plus grande PAP avec les individus possédant une plus grande proportion de fibres rapides versus lentes (Güllich *et al.*, 1996; Hamada *et al.*, 2003; Vandenboom *et al.*, 1993). De plus, sachant que la performance des sauts est un indicateur de la typologie musculaire de l'athlète puisqu'ils utilisent en majorité des fibres musculaires à contraction rapide, la performance de ceux-ci 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). Bien que la seule façon de déterminer la composition des fibres musculaires chez un athlète est de réaliser une biopsie musculaire, d'autres études ont tenté d'estimer indirectement la composition du type de fibres musculaires et les résultats sont prometteurs et significatifs (Coyle *et al.*, 1979; Froese *et al.*, 1985; Gerdle *et al.*, 1988; Suter *et al.*, 1993). Bref, à l'aide des sauts exécutés dans cette étude, nous croyons que le résultat sera directement relié à l'augmentation de la performance ou non de l'athlète.

De plus, il a été démontré que le niveau d'entraînement et le ratio de la force relative sont des facteurs prédicteurs de la performance de la PAP (Chiu *et al.*, 2003; Esformes *et al.*, 2010; Evetovich *et al.*, 2015; Karampatsos *et al.*, 2013; Kümmel *et al.*, 2016; Lim *et al.*, 2013; Terzis *et al.*, 2012; Terzis *et al.*, 2009). Un des facteurs pouvant expliquer ces résultats proviendrait du conditionnement des athlètes qui

seraient prédisposés à être plus résistants à la fatigue et nécessiteront des périodes de repos plus courtes suite à des intensités de 80% 1 RM en raison de leur capacité de neutraliser la réponse inhibitrice de la fatigue (Harrison, 2011; Hrysomallis *et al.*, 2001; Rassier *et al.*, 2000; Seitz *et al.*, 2014; Suchomel *et al.*, 2016)

**H<sub>3</sub>**: La vitesse des sprints répétés sera améliorée quatre ou huit heures après l'entraînement CT.

La performance des sprints pour évaluer la potentialisation par post-activation après un « back squat » ou « Trap-Bar Deadlift » lourd (au-dessus 80% 1RM) est chose commune dans la littérature (Bevan *et al.*, 2010; Chatzopoulos *et al.*, 2007; Chiu *et al.*, 2004; Chmiel *et al.*, 2016; Comyns *et al.*, 2010; Crewther *et al.*, 2011; González-Badillo *et al.*, 2016; Lim *et al.*, 2013; McBride *et al.*, 2005; Raastad *et al.*, 2000; Seitz *et al.*, 2016; Tsimachidis *et al.*, 2013; Wilson *et al.*, 2013). Selon la littérature, les performances de sprints (5-40 mètres) peuvent être améliorées si elles sont précédées par des contractions à haute intensité (90 % 1RM) pour 3 répétitions, à condition que les athlètes aient un temps minimum entre 4-8 minutes de récupération entre chaque série (Dobbs *et al.*, 2018; Healy *et al.*, 2017). Seulement deux recherches à ce jour ont été en mesure de démontrer les bienfaits de la PAP chez les joueurs de hockey sur glace sur leur performance lors de sprints. La première étude de (Matthews *et al.*, 2010) a démontré que l'utilisation d'élastiques à forte résistance lors d'un sprint de 10 secondes avait amélioré de 2,6% le temps du sprint de 25 mètres suite à un repos de 4 minutes. De plus, notre dernière recherche (Lagrange *et al.*, 2020) a été en mesure de démontrer que la performance des sprints répétés avait été améliorée suite à un entraînement PAP utilisant des charges de 80% 1RM 6 heures avant les tests physiques.

L'hypothèse nulle ( $H_0$ ) est :

**$H_0$**  : L'entraînement quatre ou huit heures avant les tests physiques n'aura aucun effet sur les variables dépendantes.

L'application de cette méthode le jour même de la compétition est peu étudiée dans la littérature scientifique. Il devient incontournable pour nous d'étudier les fenêtres temporelles de quatre et huit heures qui seront possibles d'incorporer à l'horaire d'un joueur professionnel de hockey la journée d'une partie. La fenêtre temporelle de Tillin et Bishop (figure 1.3) 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 al.*, 2007). Dans la littérature, il a été démontré à plusieurs reprises que la PAP pouvait durer entre 5-30 minutes (Gouvea *et al.*, 2013; Lesinski *et al.*, 2013; Seitz *et al.*, 2014; Wilson *et al.*, 1995), et seulement une recherche à ce jour a été capable de démontrer que ces effets peuvent durer plusieurs heures chez les joueurs de hockey (Lagrange *et al.*, 2020). De plus, plusieurs études n'ont pas été en mesure de prouver des effets positifs de longue durée de la PAP (DeLorme, 1945; Duncan *et al.*, 2014; Ebben *et al.*, 2000; Hanson *et al.*, 2007; Jensen *et al.*, 2003; Mangus *et al.*, 2006; Scott *et al.*, 2004).

#### 1.4 Variables

Dans le cas de ce projet, les variables dépendantes seront l'évaluation de la force explosive des membres inférieurs (saut vertical (CMJ), le saut statique (SJ), le saut en longueur (LJ)), la puissance déployée lors des sauts (Watts) à l'aide du GymAware, un encodeur linéaire portable, le temps de contact au sol (drops jumps (DJ), l'indice de force réactive (RSI)) à l'aide du capteur G-Flight, l'évaluation de la force des membres supérieurs (la force de préhension) à l'aide d'un dynamomètre et les sprints

répétés sur glace (Peterson on-ice test). La variable indépendante sera l'application de l'entraînement complexe pouvant augmenter la PAP chez les sujets de ce projet.

## CHAPITRE II

### REVUE DE LA LITTÉRATURE

#### 2.1 Les mécanismes physiologiques de la potentialisation PAP

##### 2.1.1 La phosphorylation des chaînes légères de myosine

Le mécanisme physiologique le plus cité dans la littérature scientifique pour la PAP est la phosphorylation des chaînes légères de myosine (MLC2) qui aurait un rôle de modulation dans l'activation par le calcium (Geeves *et al.*, 1999; Kajiyama, 1992). Grâce aux technologies de physiologie cellulaire, 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 al.*, 1993). Lors d'une contraction maximale volontaire, on augmente la sensibilité de l'actine-myosine au  $\text{Ca}^{2+}$  qui est libérée par le réticulum sarcoplasmique, un réseau de tubules entourant chaque myofibrille (Grange *et al.*, 1993).

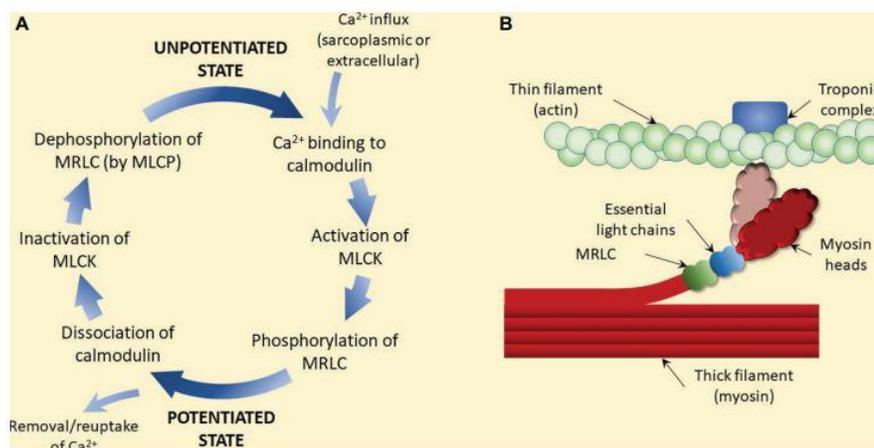


Figure 2.1 Mécanisme proposé de la PAP. (A) Les ions de calcium activent la chaîne légère de myosine Kinase (MLCK). (B) La phosphorylation augmente la production de la force (Manning *et al.*, 1982)

Cette réaction déclenche une cascade d'évènements qui augmenterait la force produite par le muscle travaillé (figure 2.1). Aussi, plus l'activation musculaire sera élevée et plus les ions de calcium dans le muscle et dans les cellules environnantes seront présents, 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). L'étude de (Vandenboom *et al.*, 1993) a démontré une corrélation entre l'amplitude de la potentialisation, la quantité de phosphorylation et le pourcentage de fibres musculaires de type II. De plus, 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). Cependant, l'étude de (Smith *et al.*, 2007) a démontré, à l'aide d'une biopsie musculaire du vaste latéral et de la mesure de la force au « leg extension » avant et 7 minutes après une CMV de 10 secondes, qu'il n'y avait aucun changement significatif de la performance entre la phosphorylation des chaînes légères de myosine et la potentialisation. Il reste que selon la littérature, il est probable que la phosphorylation accrue des MLC après un CMV augmente la production de force du muscle et contribue d'une manière ou d'une autre à la PAP.

### 2.1.2 L'activation neuromusculaire (réflexe-H)

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 reviennent souvent dans la littérature pour expliquer la potentialisation par post-activation. Le réflexe-H est induit à l'aide d'une stimulation électrique à faible intensité, les données d'électromyogramme (EMG) sont ensuite enregistrées (figure 2.2). L'onde M se produit généralement entre 3-6 ms

et suivi d'une réponse plus tardive de l'onde H (neural), cette réponse musculaire à une stimulation électrique est la plus élevée pouvant être déclenchée à une réponse maximale ou supra maximale du nerf stimulé. Ce réflexe nous permet de mesurer les adaptations neuromusculaires et l'excitabilité du motoneurone  $\alpha$  (Palmieri *et al.*, 2004; Zehr, 2002).

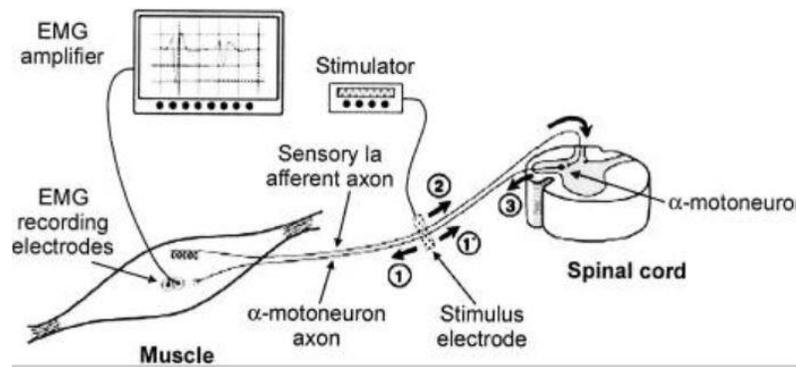


Figure 2.2 Réflexe de Hoffmann (H-réflexe) et de la réponse musculaire (onde M) (Palmieri *et al.*, 2004; Zwiren *et al.*, 1973)

Le test anticipe qu'une augmentation du réflexe-H est directement proportionnelle à l'amplitude de la contraction musculaire, donc une plus grande contraction suite à un exercice de pré-sollicitation conduira à une plus grande réponse du 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). 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). Seules quelques études ont examiné la secousse musculaire et le réflexe-H avant et après la PAP chez le soléaire et le gastrocnémien (Folland *et al.*, 2008; Güllich *et al.*, 1996; Hodgson *et al.*, 2005; Iglesias-Soler *et al.*, 2011; Trimble *et al.*, 1998) (tableau 2.1). Néanmoins, ce mécanisme augmentant la force obtenue grâce à la PAP provient en majorité de cette activation neuromusculaire.

Tableau 2.1 Résumé des études examinant l'amélioration neurale sur la PAP (Anthi *et al.*, 2014)

Authors	Subjects (sex and training status)	Conditioning contraction [type of contraction sets / repetitions duration / rest]	Muscle	Outcome						
				Variable	Reflex Properties		Torque Properties		Electrical Twitch	Voluntary
					Potentiation		Depression			
Time (min)	Percentage of increase	Time	Percentage of decrease							
Güllich and Schmidtbleicher (1996)	M & F ATH: n=10 UT: n=7	isometric 1 / 5 5" / 60"	Soleus	H-reflex	4 -11	20%				ATH EFD 4-13 min 19%
			LGas		4-11	32%; ATH: 42%; UT: 11%	0-60"	NA		
Trimble and Harp (1998)	M & F UT n=10	concentric – eccentric 8 / 10 NA / 20"	Soleus	H/M ratio	NA	NS 17% (n=5)	0-60"	36%		
			LGas		3-10	20 % (n=5)	0-60"	28%		
Hodgson et al. (2008)	M ATH n=13	isometric 1/3 5" / 55"	Soleus	H/M ratio	NS	NS	0-60"	NS	20.7%	RFD: NS
			LGas		NS	NS (n=5)	0-60"	NS (n=5)		
Iglesias – Soler et al. (2011)	M UT n=14	isometric 1/1 10" / -	Soleus	H/M ratio	NS	NS	NS	NS		MEC P. at 4 min
Folland et al. (2008)	M UT n=8	isometric 1/1 10" / -	Quad F	H/M ratio	5-11	42%	NS	NS	66.6%	IRFD: NS IT: NS

### 2.1.3 L'adaptation neurologique à l'entraînement en résistance

L'augmentation du taux de développement de la force (RFD) et de l'adaptation neurologique au niveau du muscle squelettique à la suite d'un entraînement en résistance ont été rapportées après un entraînement en force maximale (au-dessus de 80 % 1RM) (Aagaard *et al.*, 2002). L'ampleur de ces adaptations neurales vis-à-vis l'augmentation de la force musculaire est directement proportionnelle au volume, à la fréquence, à l'intensité de l'entraînement (% 1RM) et à la capacité du corps à

s'adapter à ces paramètres (Bompa *et al.*, 2015). Les adaptations neurologiques à l'entraînement en résistance consistent ; (1) désinhibition des mécanismes inhibiteurs qui regroupent l'organe du tendon de Golgi (récepteurs sensoriels situés près de la jonction myotendineuse), des cellules Renshaw (neurones présents dans la moelle épinière, dont le rôle est d'amortir la vitesse de décharge des motoneurones alpha, empêchant les dommages musculaires lors des contractions tétaniques), des signaux inhibiteurs supraspinaux et (2) l'amélioration de la coordination intra et intermusculaires qui regroupent la synchronisation des unités motrices, la capacité à recruter les unités motrices et la capacité de décharge des unités motrices afin d'exprimer la force musculaire (Bompa *et al.*, 2015).

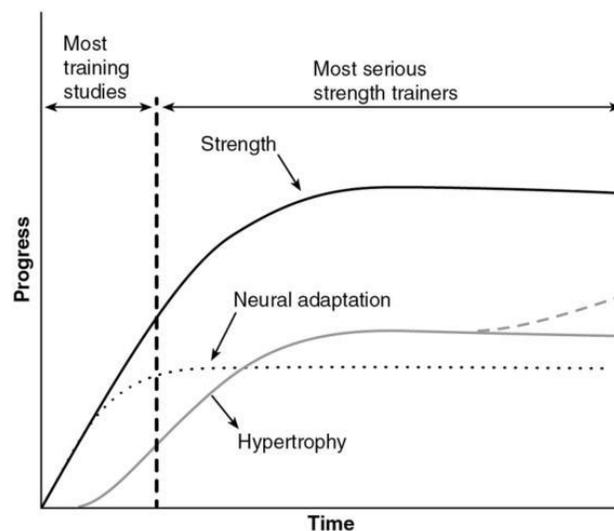


Figure 2.3 Adaptations neuronales et musculaires à la musculation au fil du temps (Moritani *et al.*, 1979)

Les adaptations neurologiques (figure 2.3) ont été démontrées comme étant la raison principale de l'amélioration significative de la force observée lors des quatre premières semaines d'un programme d'entraînement en résistance (Donatelli, 2006). Par contre, d'autres études ont conclu qu'une adaptation neurologique à court terme serait possible à l'aide d'une stimulation très élevée du système nerveux avec l'aide d'une méthode d'entraînement pouvant augmenter la PAP et la performance

neuromusculaire (Tillin *et al.*, 2009). Une étude récente a comparé l'influence du volume d'entraînement et de l'effort de l'athlète sur la performance neuromusculaire jusqu'à 48 heures après un entraînement en résistance. Ils ont observé qu'un protocole de 3 séries de 8 répétitions de « squat » et de « bench press » à 78% 1 RM entraînait une fatigue neuromusculaire plus importante pendant 48 heures, alors qu'un protocole à volume réduit de 3 séries de 4 répétitions à 88% 1RM, les athlètes étaient en mesure de récupérer dans les 6 heures suivant l'entraînement (González-Badillo *et al.*, 2016). Plusieurs recherches ont émis une hypothèse sur ce phénomène, soit qu'un entraînement en résistance avec des paramètres adéquats (volume et intensité) pourrait non seulement amener une récupération plus rapide, mais également une surcompensation suite à l'adaptation neurale à court terme de cette session et qui pourrait augmenter les performances lors des exercices explosifs qui demandent un taux de développement de la force rapide (RFD) (Bishop *et al.*, 2008; Mclester *et al.*, 2003; Murach *et al.*, 2015).

## 2.2 Les facteurs pouvant affecter la PAP et la PAPE

Tel que constaté à la figure 2.4, il existe une multitude de facteurs pouvant affecter les performances à la suite d'un entraînement visant à augmenter la PAP. Dans cette section de la thèse, nous allons nous pencher sur les facteurs les plus proéminents soit, les caractéristiques musculaires, les caractéristiques des sujets et la conception et les paramètres d'un programme PAP. Les flèches en rouge de la figure 2.4 représentent les organigrammes qui font directement référence au projet.

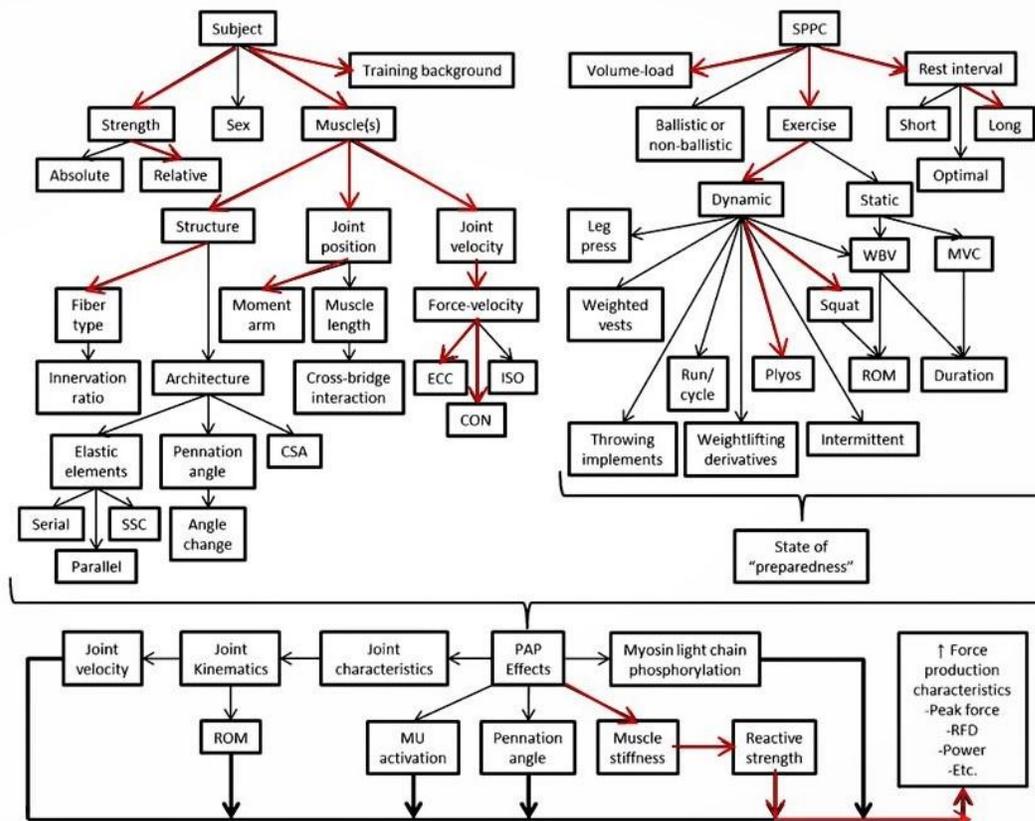


Figure 2.4 Modèle des facteurs pouvant affecter les performances à la suite d'un entraînement PAP tiré de l'article (Suchomel *et al.*, 2016). CON; action musculaire concentrique, CSA ; aire transversale, ECC ; action musculaire excentrique, ISO ; action musculaire isométrique, MU ; unité motrice, MVC ; contraction maximale volontaire, PAP ; potentialisation par post-activation, RFD ; taux de développement de la force, ROM ; amplitude de mouvement, SPPC ; complexe de potentialisation force-puissance, SSC ; cycle d'étirement raccourcissement, WBV ; vibration du corps entier

### 2.2.1 L'influence de la fatigue musculaire sur la PAP

Afin d'exploiter efficacement le phénomène de la PAP, il doit y avoir un équilibre entre deux facteurs ; la fatigue temporaire d'un stimulus de pré-conditionnement et la potentialisation (Tillin *et al.*, 2009) (figure 1.2). Immédiatement après un exercice de pré-sollicitation, les études de Gilbert et al (2005) et de Güllich et al. (1996), n'ont rapporté aucun changement ou diminution dans le taux de développement de la force isométrique (RFD). Par contre, après une récupération entre 4,5-12,5 minutes (Güllich *et al.*, 1996) et 15 minutes (Gilbert *et al.*, 2005) le RFD isométrique avait augmenté significativement (+10-24 %,  $p < 0,05$ ). Dans la littérature, les intervalles de

repos varient de 0 à 30 minutes et sont souvent contradictoires (Gouvea *et al.*, 2013; Seitz *et al.*, 2016; Wilson *et al.*, 2013). Par exemple, dans l'étude de (MacIntosh, Brian R *et al.*, 2012) le temps idéal pour une PAP serait de 5 minutes maximum puisqu'il s'agit du temps pendant lequel la myosine à chaîne légère reste phosphorylée créant ainsi, selon les auteurs, une contraction plus forte que la précédente. Par contre, dans une autre étude, il a été démontré une augmentation de 9,8 à 18,3 % du RFD 24 heures après que les participants aient exécuté 5 séries de 4 squat jump avec 40 % de leur 1 RM avec trois minutes de repos entre les séries (Tsoukos *et al.*, 2018). D'autres études ont démontré que les effets neurologiques de la PAP pourraient durer de 6 à 24 heures (Bompa *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2011; Chiu *et al.*, 2004; Ekstrand *et al.*, 2013; González-Badillo *et al.*, 2016; Lagrange *et al.*, 2020; Matthews *et al.*, 2010; Raastad *et al.*, 2000; Tsoukos *et al.*, 2018). Bref, la durée du repos est le facteur le plus important contribuant à la performance de la PAP et des recherches supplémentaires sont nécessaires pour optimiser le stimulus PAP.

### 2.2.2 Types de contractions musculaires

Bien que tout type de contraction soit susceptible d'activer les mécanismes de la PAP, le degré de potentialisation atteint est susceptible d'être influencé au type de contraction puisque ceux-ci auraient des effets différents sur la fatigue neuromusculaire (Babault *et al.*, 2006; Kay *et al.*, 2000; Sale, 1988). Il a été démontré que dans les contractions isométriques, la fatigue est d'abord centrale puis périphérique ce qui est le contraire lors des contractions balistiques (Babault *et al.*, 2006). C'est pour cette raison que l'utilisation d'exercices balistiques dans le cadre d'un entraînement complexe visant d'augmenter la PAP est la plus utilisée (Maloney *et al.*, 2014). La figure 2.5 explique 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  $Ca^{2+}$  re-uptake in the sarcoplasmic reticulum.
  - 3 Accumulation of sarcoplasmic  $Mg^{2+}$ .  $Mg^{2+}$  counteracts  $Ca^{2+}$  release from the sarcoplasmic reticulum.
  - 4 Inhibition of  $Ca^{2+}$  release from the sarcoplasmic reticulum by accumulation of  $P_i$  (see point 1).  $Ca^{2+}$  release is inhibited by precipitation of calcium phosphate in the sarcoplasmic reticulum and phosphorylation of  $Ca^{2+}$  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;  $Ca^{2+}$  = calcium;  $H^+$  = hydrogen;  
 IL = interleukin;  $K^+$  = potassium;  $Mg^{2+}$  = magnesium;  $P_i$  = inorganic phosphate.

Figure 2.5 Les causes possibles de la fatigue d'origine périphérique et centrale (MacIntosh, B. R. *et al.*, 2012)

Dernièrement les chercheurs ont tenté d'analyser et d'étudier en profondeur l'impact neuromusculaire d'un exercice à mouvement partiel (Suchomel *et al.*, 2016) qui permet l'utilisation de charges supra-maximales à comparer des méthodes concentriques (Crum *et al.*, 2012) ou excentriques standard d'entraînement en résistance (Dechechi *et al.*, 2013) pour améliorer les performances explosives ultérieures et mieux comprendre les mécanismes différents de la PAP selon le type de contraction musculaire. De ce fait, de nombreux mouvements sportifs sont initiés à partir d'un angle de  $90^\circ$  au niveau des genoux (mouvement partiel), et il semble

logique de continuer les recherches sur les exercices partiels puisqu'il a été démontré qu'avec cette stratégie, l'athlète serait en mesure d'utiliser des charges d'entraînements plus lourdes et pourrait conduire à une plus grande production de force maximale du muscle comparativement à des exercices avec une amplitude de mouvement complète (Wilson *et al.*, 1996).

### 2.2.3 L'étirement et la rigidité musculaire sur la PAP

Un autre facteur qui est examiné dans les recherches, les effets de l'étirement statique sur la potentialisation. De nombreuses études ont démontré les effets négatifs de l'étirement statique sur divers marqueurs de performance associés à la production de force (Kay *et al.*, 2000; Samuel *et al.*, 2008; Simic *et al.*, 2013). Il semble que l'étirement puisse avoir un effet similaire, mais opposé sur le recrutement et la stimulation neuronale. L'étirement de longue durée provoque une inhibition neurale aiguë, une relaxation musculaire et une diminution globale du recrutement des unités motrices (Baechle *et al.*, 2000; Simic *et al.*, 2013). L'entraînement en force peut avoir un effet de potentialisation sur le système nerveux immédiatement après, alors que l'étirement statique peut avoir un effet inhibiteur immédiatement après (organe tendineux de Golgi) (Hodgson *et al.*, 2008). En outre, d'autres recherches ont démontré que la rigidité musculaire des muscles et des tendons pouvait augmenter l'excitation du réflexe myotatique et les propriétés viscoélastiques du muscle (Behm *et al.*, 2004; Kay *et al.*, 2009; Kubo *et al.*, 2002; Kubo *et al.*, 2005; Kubo *et al.*, 2001; Kubo *et al.*, 1999). Tout comme l'angle de pennation des muscles qui pourrait affecter la transmission de force aux tendons et aux os (Folland *et al.*, 2007) puisqu'un angle plus petit permet un meilleur levier mécanique et serait plus efficace puisque la direction de la force serait plus élevée dans l'orientation des fibres musculaires (Beckham *et al.*, 2013; Iguchi *et al.*, 2011). Ceux-ci pourraient amener une adaptation positive et améliorer le taux de force de développement (RFD) de

l'athlète et du cycle d'étirement-raccourcissement (CER) (Brazier *et al.*, 2014; Wilson *et al.*, 2008). Bref, l'étirement statique de longue durée peut amener un effet inverse de la PAP tout comme les changements de raideur tendineuse pouvant affecter les propriétés contractiles musculaires et les performances (Bojsen-Møller *et al.*, 2005).

### 2.3 Des nouveaux mécanismes pouvant expliquer la performance post-activation (PAPE)

#### 2.3.1 La température musculaire

Dans la littérature, un échauffement musculaire permet d'obtenir une meilleure performance. Il a été prouvé qu'il y aurait une forte corrélation entre la température musculaire, la puissance déployée et la perte de performance (Edholm *et al.*, 2015; Hammami *et al.*, 2018; Mohr *et al.*, 2004). Une étude a démontré qu'un exercice à haute intensité pourrait augmenter la température musculaire d'environ 1°C sur une période de 3 minutes (González-Alonso *et al.*, 2000). De plus, cette augmentation de la température musculaire pourrait améliorer jusqu'à 5% de la puissance déployée de l'exercice (Binkhorst *et al.*, 1977). Malgré que cette hypothèse ne soit appuyée que par peu d'études, il en reste un facteur à ne pas négliger lors d'un entraînement PAP pour obtenir une performance post-activation PAPE.

#### 2.3.2 L'excitabilité rachidienne et la teneur en eau intramusculaire

Malgré que certaines études suggèrent que l'effet de l'amélioration de la performance post-activation (PAPE) ne parvient pas avec un meilleur recrutement d'unités motrices (Behm *et al.*, 2004), il reste qu'il a été démontré que l'excitabilité vertébrale pouvait être maintenue pendant environ 30 minutes après un entraînement en résistance (Nuzzo *et al.*, 2016), et de tels changements pourraient entraîner un

recrutement accru des unités motrices après la dissipation de la fatigue du système nerveux central (CNS) (Senefeld *et al.*, 2018). D'autre part, la teneur en eau semble être un autre facteur de l'amélioration des performances à court et moyen terme. Une étude a conclu que les muscles gonflaient pendant une période d'environ 10 minutes, avant de retrouver leur taille initiale (Takahashi *et al.*, 1994). Ce gonflement se produirait en raison de l'augmentation de la teneur en eau intracellulaire et extracellulaire, qui peuvent toutes deux affecter la production de la force musculaire (Blazevich *et al.*, 2019). Néanmoins, comme pour la température musculaire, plusieurs séries d'exercices sont nécessaires pour augmenter la teneur en eau musculaire de manière significative (Taniguchi *et al.*, 2020).

## 2.4 Caractéristiques du sujet

Les caractéristiques du sujet qui ont été suggérées pour influencer la réponse à la fatigue PAP d'un individu comprennent l'âge, le sexe, la typologie des fibres musculaires, le niveau d'entraînement et la force musculaire.

### 2.4.1 L'âge et le sexe

Une étude a comparé la PAP au niveau des muscles plantaires de la cheville entre les garçons de 11 ans (pré-puberté) et les jeunes adultes âgés de 19 à 23 ans (post-puberté) (Kuu *et al.*, 2005). Il a été démontré suite à une contraction isométrique maximale volontaire que les garçons pré-pubères avaient des forces de contractions inférieures, mais une potentialisation similaire à celle des jeunes adultes. Cela suggère que les jeunes adolescents peuvent bénéficier de méthodologies conçues pour induire la PAP. D'autre part, il semble n'y avoir aucune tendance statistique significative vers l'amélioration des performances selon le sexe. Certaines recherches ont indiqué que les hommes possèderaient un plus grand pourcentage et une plus

grande surface transversale de fibre de type II par rapport aux femmes. Les hommes obtiendraient un meilleur potentiel d'amélioration puisqu'ils seraient plus susceptibles d'obtenir une meilleure potentialisation par rapport aux femmes (Hamada *et al.*, 2000; Rixon *et al.*, 2007; Terzis *et al.*, 2009; Vandenoorn *et al.*, 1995). De ce fait, une étude (Wust *et al.*, 2008) a démontré que le processus de ramener la concentration de  $\text{Ca}^+$  dans le réticulum sarcoplasmique était plus lent chez la femme comparativement à l'homme, puisque 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). Par contre, certains chercheurs n'ont signalé aucune différence statistique telles que les résultats de Jensen *et al.* (2003), qui suggèrent que l'effet de l'entraînement complexe est similaire pour les athlètes masculins et féminins (Jensen *et al.*, 2003), et donc que la PAP n'est pas affectée par le sexe de l'individu (Staron *et al.*, 2000; Witmer *et al.*, 2010). La majorité des études ayant été faite sur des sujets masculins, des recherches supplémentaires devront être faites pour déterminer si les mêmes protocoles de PAP peuvent être utilisés efficacement avec des sujets masculins et féminins.

#### 2.4.2 Typologie des fibres musculaires et les pompes $\text{Na}^+ \text{K}^+$

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  $\text{Ca}^{2+}$  dans le réticulum sarcoplasmique et par l'interaction de la protéine troponine (Hamada *et al.*, 2000). De plus, le retour au

calme à la suite d'une contraction musculaire est plus rapide chez les fibres de type II, puisque le réticulum sarcoplasmique séquestre le  $\text{Ca}^{2+}$  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. La méthode PAP serait donc plus adéquate pour cette population. D'autre part, la membrane des fibres rapides possède un nombre plus élevé de pompes  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  (Clausen *et al.*, 1998). Nous savons que le muscle libère du  $\text{K}^+$  en excès lorsqu'il est fatigué et, en échange capte du  $\text{Na}^+$ . Ce changement extracellulaire et intracellulaire de la concentration du  $\text{K}^+$  amène une dépolarisation de la membrane cellulaire (Adrian, 1956). À cet égard, une des hypothèses indique qu'une accumulation de  $\text{K}^+$  pourrait être un facteur important dans la diminution de la force (Renaud *et al.*, 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 dans les fibres de type II, nous permet de croire que les sujets entraînés seront avantagés puisque leur seuil de fatigue musculaire est retardé lors d'exercices d'intensité sous-maximale (Duchateau *et al.*, 1984). Cette adaptation due à l'entraînement favorise le transfert du  $\text{Ca}^{2+}$  et pourrait retarder la fatigue musculaire.

#### 2.4.3 Le niveau d'entraînement de l'individu et le ratio de force relative

Le niveau d'entraînement d'un individu peut influencer les réponses au niveau de la PAP et de la fatigue à la suite d'une pré-sollicitation musculaire, et est montré dans le tableau 2.2 (Esformes *et al.*, 2010; Evetovich *et al.*, 2015; Karampatsos *et al.*, 2013; Kümmel *et al.*, 2016; Lim *et al.*, 2013; Linder *et al.*, 2010; Terzis *et al.*, 2012; Terzis *et al.*, 2009). L'étude de (Chiu *et al.*, 2003) a divisé un échantillon de 24 sujets en deux, soit un groupe d'athlètes qui participaient à un sport au niveau

national/international (RT, n=7) et ceux qui s'entraînaient en résistance de manière récréative (UT ; n=17). Après avoir exécuté cinq séries de back squat avec 90% 1RM et un repos de 5-7 minutes, le groupe RT a augmenté de 1-3 % la hauteur de leurs sauts versus une diminution de 1-4 % de la hauteur des sauts du groupe UT. Une autre étude a démontré les mêmes conclusions avec les athlètes d'athlétisme de division 1 qui avaient mieux performé dans les sauts en longueur par rapport aux étudiants après le protocole PAP (Koch *et al.*, 2003). D'autre part, le ratio de la force relative de l'athlète semble aussi jouer un rôle important pour exploiter la PAP. Plusieurs recherches ont été en mesure de démontrer qu'un individu pouvant soulever deux fois leur masse corporelle au back squat atteindrait une plus grande PAP et produiraient une plus grande puissance déployée dans le saut vertical, horizontal et lors des sprints (Barker *et al.*, 1993; Ruben *et al.*, 2010; Seitz *et al.*, 2014; Stone *et al.*, 2002; Suchomel *et al.*, 2016; Wisløff *et al.*, 2004). Dans l'une de ces études effectuées sur 18 joueurs de rugby, ils ont divisé l'échantillon en deux groupes, les plus forts (2 x poids corporel au squat) et les plus faibles (1.5 x poids corporel au squat) (Seitz *et al.*, 2014). Après avoir effectué 3 répétitions de 90% 1RM de back squat, le groupe le plus fort a affiché une plus grande magnitude de la potentialisation comparativement au groupe plus faible lors d'un saut pliométrique exécuté à 15 sec, 3,6,9 et 12 minutes (Seitz *et al.*, 2014). Cependant, ces résultats ne sont pas unanimes. Dans une étude sur les footballeurs de la NCAA, il a été démontré que les effets de la PAP étaient indépendants du niveau de la force (McBride *et al.*, 2005). Cette conclusion a été également supportée par (Mangus *et al.*, 2006), qui ont constaté que le ratio de la force ne permettait pas de prédire les individus susceptibles de tirer profit des activités PAP.

Bref, en majorité, la littérature suggère que les athlètes de force et de puissance développent une résistance à la fatigue à des charges plus élevées, puisqu'ils ont tendance à avoir un plus grand pourcentage de fibre musculaire de type II suite à plusieurs années d'expérience d'entraînement et peuvent bénéficier davantage des

protocoles de la PAP (Stone *et al.*, 2008). En ce sens, ce facteur devrait être considéré avant la prescription d'un entraînement utilisant la méthode PAP.

Tableau 2.2 Résumé des études examinant les caractéristiques des sujets et leur niveau d'entraînement (Borba *et al.*, 2017)

Studies	Sex	Variables			
		Mean Age (years)	Mean Weight (kg)	Mean Height (m)	Training Level
Karampatsos <i>et al.</i> <sup>16</sup>	M	26	113.4	1.84	Athlete
Terzis <i>et al.</i> <sup>34</sup>	M/F	23/22	77/66	1.77/1.70	Physically active
Terzis <i>et al.</i> <sup>35</sup>	M	24	110.4	1.82	Athlete
Evetovich <i>et al.</i> <sup>36</sup>	M/F	20	73.3/59.8	1.78/1.69	Athlete
Kummel <i>et al.</i> <sup>37</sup>	M/F	22	99/79	1.86/1.81	Athlete
Esformes <i>et al.</i> <sup>38</sup>	M	22	82.7	1.82	Athlete
Linder <i>et al.</i> <sup>39</sup>	F	20	58.4	1.60	Physically active
Lim and Kong <sup>40</sup>	M	22	67.6	1.74	Athlete

M = male; F = female

## 2.5 Type d'entraînement augmentant la PAP

La méthode la plus utilisée pour obtenir une potentialisation est l'entraînement en résistance avec l'aide de charges lourdes (80-85% 1RM). Le squat est l'exercice le plus souvent utilisé dans les recherches sur la potentialisation (Gouvea *et al.*, 2013). La principale raison est due au fait que cet exercice pluri-articulaire 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 (Gullett *et al.*, 2009). Par contre, il y a des études contradictoires sur la charge idéale pour susciter une PAP. Une méta-analyse par (Wilson *et al.*, 2013), a signalé que les intensités modérées (60-84% de 1RM) étaient idéales pour susciter la PAP par rapport à une charge d'intensité plus élevée (>85% du 1RM). Alors que la méta-analyse plus récente réalisée par (Seitz *et al.*, 2016), a démontré que les charges à intensités élevées (>85% du 1RM) pouvaient

être plus efficaces que les charges d'intensité modérée pour induire la potentialisation. Il reste que peu importe l'intensité choisie par les chercheurs pour évoquer une PAP l'exercice pour la mesurer est souvent un exercice dynamique tel que le squat jump (SJ) ou le counter movement jump (CMJ) tel que démontré dans les tableaux 2.3 à 2.9 tirés de l'article "*Understanding vertical jump potentiation : A deterministic model*" par (Suchomel *et al.*, 2016) qui regroupent plus de 85 études. Le SJ permet de réduire ou éliminer l'influence du cycle d'étirement raccourcissement puisque le sujet doit partir d'une position demi-squat alors que le CMJ commence à partir de la position debout pour permettre à l'athlète d'atteindre la hauteur de saut maximale (Bobbert *et al.*, 1996).

De ce fait, en étudiant les tableaux ici-bas il n'est pas étonnant de constater que la méthode la plus utilisée est la pliométrie. Celle-ci 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 introduit 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 (Buchwald, 1967; Davies *et al.*, 2015). 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 ainsi qu'une meilleure propagation de l'influx nerveux et une meilleure contraction musculaire en sont quelques exemples (Sale, 2008). Un point important relevé par (Duchateau *et al.*, 2008), serait qu'une activation plus rapide des motoneurons 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). Combinés ensemble, les exercices de musculation et de pliométrie sont appelés entraînement complexe (CT).

Tableau 2.3 Tableau des études examinant les effets de divers protocoles PAP à la suite d'un squat jump tiré de l'article (Suchomel *et al.*, 2016)

Study	N (training status)	Intervention	Rest interval(s)	Results
Arabatzi et al. 2014	58 (TR)	3 9 3 s MVC squats	20 s, 4 min	: RFD as a age increased in both males and females : SJ performance only in men No effect on SJ performance in teen-male, boy, and female groups : RFD in both a adult and teen-male groups No change in RFD in children
Cilli et al. 2014	35 (TR)	Dynamic warm-up exercises while fixed to a cable-cross machine with 2, 4, 6, 8, and 10 % bodyweight resistance	NS	: SJ height after all % ages No difference in : SJ height between % ages : SJ peak force after 8 %
Kavanaugh et al. 2011	14 (RT)	3 9 30s static squat at 120–130L knee angle with or without WBV at 30 Hz and 3 mm amplitude	5 min	No difference in SJ height, peak force, PP, or RFD during SJ with 0 or 20 kg
Requena et al. 2011	14 (TR)	10 s MVC of knee extensors	5 min	Strong correlation between SJ height and twitch peak torque potentiation ( $r = 0.64$ )
Rittweger et al. 2000	37 (NS)	Exhaustive squat exercise with 40 % of body mass with and without WBV at 26 Hz with 6 mm amplitude	*10, 15, 20 s, 15 min	: SJ height at 10 and 15 s after WBV
Rønnestad, 2009	17 (RT, UT)	WBV protocols at 20, 35, and 50 Hz with 3 mm amplitude or no WBV	NS	: SJ peak average power after 50 Hz in both recreationally trained and untrained subjects No differences in SJ peak average power after WBV at 20 and 35 Hz
Seitz et al. 2014	18 (TR)	1 9 3 back squats at 90 % 1RM	15 s, 3, 6, 9, 12 min	: SJ power at 15 s for both strong and weak groups : SJ power at 3, 6, 9, 12 min in strong group : SJ power at 6, 9, 12 min in weak group
Smilios et al. 2005	10 (TR)	3 9 5 half-squats at 30 % 1RM (A) 3 9 5 half-squats at 60 % 1RM (B) 3 9 5 jump squats at 30 % 1RM (C) 3 9 5 jump squats at 60 % 1RM (D)	1, 5, 10 min after each set	: SJ height after 1st set with B
Suchomel et al. 2015	13 (TR)	1 9 2 ballistic concentric-only half-squats at 90 % 1RM	Immed, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 min	: SJ PP, but no differences between rest intervals No main effect differences in SJ peak force, net impulse, or RFD
Suchomel et al. 2015	15 (TR)	1 9 2 ballistic concentric-only half-squats at 90 % 1RM (A) 1 9 2 non-ballistic concentric-only half-squats at 90 % 1RM (B) Control (C)	2 min	Greater : in SJ height, PP, and allometrically scaled PP during A compared with B and C No differences in SJ height, PP, and allometrically scaled PP between B and C
Suchomel et al. 2015	16 (TR)	1 9 2 ballistic concentric-only half-squats at 90 % 1RM (A) 1 9 2 non-ballistic concentric-only half-squats at 90 % 1RM (B)	Immed, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 min	Strong subjects: SJ height and allometrically scaled PP earlier and to a greater extent compared with weak subjects during both A and B
Syguilla and Fontaine 2014	29 (TR)	1 9 3 back squats at 90 % 1RM	5 min	No difference in SJ height or PP
Weber et al. 2008	12 (TR)	1 9 5 back squats at 85 % 1RM	3 min	: Peak and mean jump height and force of 7 consecutive SJs
Young and Elliott 2001	14 (TR)	3 9 5 s MVC of plantar flexors and knee extensors	4 min	No difference in SJ performance

: increase or increased, ; decrease or decreased, Immed immediately following intervention, MVC maximal voluntary contraction, NS training status or rest interval not specified, PP peak power, RFD rate of force development, RM repetition maximum, RT subjects reported as recreationally trained, SJ squat jump, TR subjects who have trained at least twice per week for 1 year or athletes, UT untrained subjects who have not participated in any resistance training over the previous year, WBV whole-body vibration

Tableau 2.4 1<sup>ère</sup> partie- Sommaire des études examinant les effets de divers protocoles PAP avec le CMJ tiré de l'article (Suchomel *et al.*, 2016)

Study	N (training status)	Intervention	Rest interval (s)	Results
Andrews et al. 2011	19 (TR)	3 9 3 back squats at 75 % 1RM 3 9 3 hang clean at 60 % 1RM	3 min	Hang clean protocol more effective at maintaining CMJ height across 3 sets compared with back squat protocol
Armstrong et al. 2010	90 (NS)	Various WBV protocols including different frequencies (30, 35, 40, 50 Hz) and amplitude (2–4 or 4–6 mm) for 1 min	1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 min	No differences in CMJ height over time between groups, frequencies, and amplitudes : CMJ height at 5 and 10 min for whole group
Batista et al. 2011	23 (TR)	1 or 3 5-s MVCs of leg press	4 min	No differences in CMJ height or take-off velocity existed between groups
Berning et al. 2010	21 (TR, UT)	Functional isometric squat with 150 % 1RM	4, 5 min	: CMJ height in trained subjects No difference in CMJ height in untrained subjects
Bogdanis et al. 2014	14 (TR)	3 9 3 s MVC half-squat (A) Equal impulse of: Concentric-only half-squats at 90 % 1RM (B) Eccentric half-squats at 70 % 1RM (C)	15 s, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 21 min	: in CMJ performance as compared with baseline performance after A No change in CMJ performance after B or C compared with baseline values at any time point
Bomfim Lima et al. 2011	10 (TR)	2 9 5 DJs from 0.75 m	5, 10, 15 min	: CMJ height at 15 min compared with baseline and 5 min
Boullosa et al. 2013	12 (RT)	1 9 5 half-squats at 5RM (A) 1 9 5 half-squats at 5RM with 30 s cluster (B)	1, 3, 6, 9, 12 min	No main effects for CMJ parameters : Peak power after B at 1 min : Peak power after A at 9 min
Boullosa and Tuimil, 2009	12 (TR)	Université de Montréal Track Test Time limit at maximal aerobic speed	2, 7 min	: CMJ height after Université de Montréal Track Test at 2 min and 7 min : CMJ height after time limit at maximal aerobic speed only at 2 min
Boyd et al. 2014	10 (TR)	1 9 1 functional isometric half-squat at 150 % 1RM 1 9 3 half-squats at 150 % 1RM	2, 5, 8, 11 min	No differences between protocols in peak force, power, displacement, velocity at any time point : Peak force following squat protocols for combined condition CMJ data : Peak power following squat protocols for combined condition CMJ data
Burkett et al. 2005	29 (TR)	1 9 5 CMJ at 75 % 1RM CMJ height 1 9 5 LCMJ (10 % bodyweight) onto box	2 min	: CMJ height after weighted CMJ
Burns et al. 2015	19 (RT) 18 (TR)	1 9 2-min static squat at 120L of knee flexion with or without WBV at 30 Hz with 13-mm amplitude	Immed	No difference in CMJ performance between conditions No condition 9 group interaction effects for any CMJ performance measure
Chaouachi et al. 2011	12 (TR)	1 9 10 half-squats at 70 % 1RM 1 9 5 half-squats at 70 % 1RM 1 9 5 half-squats at 85 % 1RM 1 9 3 half-squats at 85 % 1RM 1 9 3 half-squats at 90 % 1RM 1 9 1 half-squats at 90 % 1RM	1, 2, 3, 5, 10, 15 min	No differences between protocols in CMJ height, peak power, force, velocity, or mean power at any time point
Chattong et al. 2010	20 (TR)	CMJs onto box with 5, 10, 15, and 20 % bodyweight weighted vest (A) CMJs without weighted vest (B)	2 min	: CMJ height following both A and B No differences in CMJ height between A and B

Tableau 2.5 2<sup>ème</sup> partie- Sommaire des études examinant les effets de divers protocoles PAP avec le CMJ tiré de l'article (Suchomel *et al.*, 2016)

Study	N (training status)	Intervention	Rest interval (s)	Results
Chen et al. 2013	10 (TR)	1 9 5 DJs 2 9 5 DJs	2, 6, 12 min	: CMJ height at 2 min compared with pretest, 6 min, and 12 min : CMJ height at 6 min compared with 12 min No difference in CMJ height between protocols
Chiu and Salem, 2012	13 (TR)	3-4 9 2 snatch pulls at progressive barbell loads	3 min after each set wave	: CMJ height midway through the sets and following all the sets compared with baseline
Cilli et al. 2014	35 (TR)	Dynamic warm-up exercises while fixed to a cable-cross machine with 2, 4, 6, 8, and 10 % bodyweight resistance	NS	: CMJ height after all % ages : CMJ height after 10 % compared with 6 and 8 % No difference in CMJ peak force at any % age
Clark et al. 2006	9 (TR)	1 9 6 LCMJs with 20 kg (A) 1 9 6 LCMJs with 40 kg (B)	4 min	: LCMJ height after B compared with A : LCMJ peak power after B compared with A in 2nd and 3rd sets
Comyns et al. 2006	18 (TR)	1 9 5 back squats at 5RM	30 s, 2, 4, 6 min	No change in CMJ peak force : CMJ flight time in entire group and women at 30 s and 6 min No sex differences
Cormie et al. 2006	9 (RT)	30-s WBV at 30 Hz with 2.5 mm amplitude	Immed, 5, 15, 30 min	: CMJ height Immed after WBV compared with sham treatment No differences in EMG of VL, VM, and BF between protocols
Crewther et al. 2011	9 (TR)	1 9 3 back squats at 3RM	15 s, 4, 8, 12, 16 min	: CMJ height at 15 s and 16 min : CMJ height at 4, 8, 12 min : Relative changes in CMJ height
Crum et al. 2012	20 (TR)	3 9 1 concentric-only quarter squats with 50 % 1RM (A) 3 9 1 concentric-only quarter squats with 65 % 1RM (B)	30 s, 3, 5, 10, 15 min	No differences in CMJ displacement, peak power output, peak force, or RFD between A and B
de Villarreal et al. 2007	12 (TR)	2 9 4 back squats at 80 % 1RM, 2 9 2 back squats at 85 % 1RM (A) 2 9 4 back squats at 80 % 1RM, 2 9 2 back squats at 90 % 1RM, and 2 9 1 back squats at 95 % 1RM (B) 3 9 5 back squats at 30 % 1RM (C) 3 9 5 CMJs with optimal load (D)	5 min, 6 h	: CMJ height after A and B at 5 min : Loaded CMJ height after A and B at 5 min No difference in CMJ or LCMJ after C : CMJ power after D : LCMJ height at 5 min and 6 h after D
Dinsdale and Bissas, 2010	12 (TR)	1 9 3 hang clean at 90 % 1RM combined with different rest intervals Control	Immed, 1, 2, 3, 4, 5, or 6 min	No change in CMJ height or peak power after control, 1, 4, 5, or 6 min : CMJ height after Immed, 2-, and 3-min rest period protocols
El Hage et al. 2011	17 (RT)	1 9 3 half-squats at 85 % 1RM (A) 1 9 5-s MVC half-squat at 90L knee angle with 100 % 1RM (B)	Immed, 2, 4 min	: CMJ performance Immed, 2, and 4 min after A compared with baseline : CMJ performance Immed and 4 min after B compared with baseline No difference in CMJ performance 2 min after B compared with baseline
Esformes et al. 2013	27 (TR)	1 9 3 back squats at 3RM 1 9 3 quarter-squats at 3RM	5 min	: CMJ height, impulse, peak power, and flight time

Tableau 2.6 3<sup>ème</sup> partie- Sommaire des études examinant les effets de divers protocoles PAP avec le CMJ tiré de l'article (Suchomel *et al.*, 2016)

Study	N (training status)	Intervention	Rest interval (s)	Results
Esformes et al. 2010	13 (TR)	3 9 3 half-squats at 3RM 3 9 24 plyometric bounds and hops	5 min	No difference in CMJ displacement, peak power, or peak vertical force Greater displacement following half-squats compared with plyometrics
Evetovich et al. 2015	27 (TR)	1 9 3 back squats at 3RM	5 min	: CMJ height, impulse, peak power, and flight time
Evetovich et al. 2015	20 (TR)	1 9 3 back squats at 85 % 1RM	8 min	No difference in responses between sexes : CMJ height and horizontal jump distance
Faigenbaum et al. 2006	18 (TR)	Dynamic warm-up (A) Weighted vest dynamic warm-up with 2 % bodyweight (B) Weighted vest dynamic warm-up with 6 % bodyweight (C)	2 min	: CMJ height after A and B, but not after C
French et al. 2003	14 (TR)	3 9 3-s or 5-s MVC of knee extensors	Immed	No changes in CMJ performance
Fukutani et al. 2014	8 (TR)	Heavy: 1 9 3 back squats at 90 % 1RM Moderate: 1 9 3 back squats at 75 % 1RM	60 s	: CMJ height after both heavy and moderate conditions, but greater : after heavy
Garcia-Pinillos et al. 2015	30 (TR)	4 9 3 9 400 m runs	2 min	: CMJ height after sets 1, 3, and 4, but not after set 2 : CMJ peak power after all sets : CMJ peak force after all sets
Gonzalez-Rave et al. 2009	24 (UT)	3 9 4 half-squats at 85 % 1RM (A) 3 9 4 half-squats at 85 % 1RM and 3 static stretches held for 15 s (B)	NS	No differences in CMJ height between A and B
Gourgoulis et al. 2003	20 (NS)	1 9 2 half-squats at 90 % 1RM	Immed	No difference in power : CMJ height
Hanson et al. 2007	30 (TR)	1 9 8 back squats at 40 % 1RM 1 9 4 back squats at 80 % 1RM	5 min	No effect on CMJ performance
Hilfiker et al. 2007	13 (TR)	1 9 5 modified DJs from 60 cm	1 min	: CMJ power as compared with control
Hirayama, 2014	14 (TR)	1 9 1 at 20, 40, 60, 80 % 1RM and 6-s MVC half-squat	1 min after each set	: CMJ height after 60 %, 80 %, and MVC squats : CMJ height after MVC squat vs 60 % and 80 % squats : CMJ height after 80 % squat vs 60 % squat
Jensen and Ebben, 2003	21 (TR)	1 9 5 back squats at 5RM	10 s, 1, 2, 3, 4 min	; CMJ height at 10 s No effect at 1–4 min
Jones and Lees, 2003	8 (TR)	1 9 5 back squats at 85 % 1RM	Immed, 3, 10, 20 min	No main effects for CMJ performance or EMG activity
Khamoui et al. 2009	16 (TR)	1 9 2–5 back squats at 85 % 1RM	5 min	No effect on CMJ height or take-off velocity ; Force and impulse

Tableau 2.7 4<sup>ème</sup> partie- Sommaire des études examinant les effets de divers protocoles PAP avec le CMJ tiré de l'article (Suchomel *et al.*, 2016)

Study	N (training status)	Intervention	Rest interval (s)	Results
Kilduff et al. 2011	9 (TR)	1 9 3 back squats at 87 % 1RM	Immed, 4, 8, 12, 16 min	: Peak power and jump height at 8 min than all other time intervals : Peak power and jump height Immed after squats : Peak vertical and horizontal force after squats compared with swim-specific warm-up
Kilduff et al. 2008	20 (TR)	3 9 3 back squats at 87 % 1RM	15 s, 4, 8, 12, 16, 20, 24 min	: Jump height 15 s : Power output, RFD, and jump height at 8 min than all other time intervals
Kilduff et al. 2007	23 (TR)	1 9 3 back squats at 3RM	15 s, 4, 8, 12, 16, 20 min	: CMJ at 15 s : CMJ at 8–12 min
Lamont et al. 2010	21 (RT)	1 9 30-s WBV at 30 Hz 3 9 10-s WBV at 30 Hz 1 9 30-s WBV at 50 Hz 3 9 10-s WBV at 50 Hz	2, 7.5, 17 min	No difference in CMJ height between protocols : % change of CMJ height after 3 9 10 s at 50 Hz compared with 30 s at 30 Hz No difference in power or relative power between protocols
Latorre-Roman et al. 2014	16 (TR)	4 9 3 9 400 m runs	2 min	: CMJ height after set 1, but not after other sets
Lowery et al. 2012	13 (TR)	1 9 5 back squats at 56 % 1RM 1 9 4 back squats at 70 % 1RM 1 9 3 back squats at 93 % 1RM	Immed, 0, 2, 4, 8, 12 min	No change in CMJ power after 56 % squats : CMJ power Immed after 70 % and 93 % squats : CMJ power 4 min after 70 % squats : CMJ power 4, 8 min after 93 % squats No difference in CMJ height and power between 70 % and 93 % squats
Mangus et al. 2006	11 (TR)	1 9 1 half-squat at 90 % 1RM half-squat (A) 1 9 1 quarter-squat at 90 % 1RM quarter-squat (B)	3 min	No difference in CMJ performance compared with control condition after A or B
McCann and Flanagan, 2010	16 (TR)	1 9 5 back squats at 5RM 1 9 5 hang clean at 5RM	4, 5 min	: CMJ height after subjects used optimal condition : CMJ height after 4 min compared with baseline No main effect difference in CMJ height after 5 min No time effect differences in CMJ height No sex differences in CMJ height or peak force
Mitchell and Sale, 2011	11 (TR)	1 9 5 back squats at 5RM	4 min	: CMJ height and peak twitch
Moir et al. 2011	11 (TR)	1 9 3 back squats at 90 % 1RM 1 9 12 back squats at 37 % 1RM	2 min	No difference in CMJ height or vertical Stiffness between protocols
Mola et al. 2014	22 (TR)	1 9 3 back squats at 3RM	15 s, 4, 8, 12, 16, 20 min	No difference in CMJ peak power or height between experimental and control No time effect existed for peak power and jump height

Tableau 2.8 5<sup>ème</sup> partie- Sommaire des études examinant les effets de divers protocoles PAP avec le CMJ tiré de l'article (Suchomel *et al.*, 2016)

Study	N (training status)	Intervention	Rest interval (s)	Results
Naclerio et al. 2014	15 (TR)	1 9 3 back squats at 80 % 1RM with or without WBV at 40 Hz with 1.963-mm amplitude 3 9 3 back squats at 80 % 1RM with or without WBV at 40 Hz with 1.963-mm amplitude	1, 4 min	No main effects for condition 9 volume 9 rest period interaction for CMJ : CMJ after 4 min compared with 1 min : CMJ height for non-vibration at low volume, but not low volume
Needham et al. 2009	20 (TR)	Static stretching (A) Dynamic stretching (B) Dynamic stretching with dumbbell front squats with 20 % body mass (C)	3, 6 min	: CMJ height after C compared with A and B at 3 and 6 min
Reardon et al. 2014	11 (RT)	3 9 10 back squats at 75 % 1RM 3 9 3 back squats at 90 % 1RM 1 9 1 back squat at 100 % 1RM	8, 20 min	No change in CMJ height, peak power, or average power for any protocol
Requena et al. 2011	14 (TR)	10-s MVC of knee extensors	5 min	Strong correlation CMJ height and twitch peak torque potentiation ( $r = 0.61$ )
Rixon et al. 2007	30 (TR, RT, UT)	3 9 3-s MVC squat (A) 1 9 3 half-squat at 3RM (B)	3 min	: CMJ height and power after A : CMJ power compared with pretest
Robbins and Docherty, 2005	16 (RT)	3 9 7-s MVC squat	4 min	No effect on CMJ performance
Rønnestad, 2009	17 (RT, UT)	WBV protocols at 20, 35, and 50 Hz with 3-mm amplitude or no WBV	NS	: CMJ peak average power after 50 Hz in UT, but not RT No differences in CMJ peak average power after WBV at 20 and 35 Hz
Scott and Docherty, 2004	19 (TR)	1 9 5 back squats at 5RM	5 min	No acute or linear improvement in CMJ performance
Smilios et al. 2005	10 (TR)	3 9 5 half-squats at 30 % 1RM (A) 3 9 5 half-squats at 60 % 1RM (B) 3 9 5 jump squats at 30 % 1RM (C) 3 9 5 jump squats at 60 % 1RM (D)	1, 5, 10 min after each set	No change in CMJ height with A : CMJ height after 1st and 2nd sets with B : CMJ height after 1st and 2nd sets with C : CMJ height after 2nd and 3rd sets with D
Sortiropoulos et al. 2010	26 (TR)	1 9 5 half-squats at 25 % 1RM, 1 9 5 half-squats at 35 % 1RM (A) 1 9 5 half-squats at 45 % 1RM, 1 9 5 half-squats at 65 % 1RM (B)	3 min	No difference between groups A and B in CMJ height or power
Stieg et al. 2011	17 (TR)	1 9 0, 3, 6, 9, or 12 DJs from individualized height	10 min	No main effect differences in condition, time, or relative ground reaction forces existed : CMJ height after 9 DJs compared with 0, 3, and 6 DJs
Till and Cooke, 2009	12 (TR)	1 9 5 deadlifts at 5RM 1 9 5 tuck jumps 3 9 3s MVC knee extension at 90L	7, 8, 9 min	No difference in CMJ height or average CMJ height for any protocol
Tobin and Delahunt, 2014	20 (TR)	2 9 10 ankle hops, 3 9 5 70-cm hurdle jumps, and 5 DJs from 50 cm	1, 3, 5 min	: CMJ height and peak force at 1, 3, 5 min
Tsolakis and Bogdanis, 2011	23 (TR)	3 9 3-s MVC knee extensions (A) 3 9 5 tuck jumps (B)	Immed, 4, 8, 12 min	: CMJ power in men vs no change in women after A : Peak leg power at 8 and 12 min after A : CMJ power at 8 and 12 min after B

Tableau 2.9 6<sup>ème</sup> partie- Sommaire des études examinant les effets de divers protocoles PAP avec le CMJ tiré de l'article (Suchomel *et al.*, 2016)

Study	N (training status)	Intervention	Rest interval (s)	Results
Turner et al. 2011	12 (RT)	30s WBV in half-squat at 0, 30, 35, 40 Hz with 8-mm amplitude	NS	No difference in CMJ height between any of the protocols : CMJ height pre-post after WBV at 40 Hz
Veligeckas et al. 2013	13 (TR)	3 9 3-s MVC squat at knee angle of either 91L or 139L	15 s, 3, 6, 9, 12 min	: Peak isometric force with 139L vs 91L MVC squats : CMJ performance after 139L MVC squats at 3, 6, 9, 12 min No change in CMJ performance after 91L MVC squats
West et al. 2013	36 (TR)	3 9 3 back squats at 87 % 1RM	8 min	: CMJ peak power after both active and passive recovery : Delta and % change in peak power after passive recovery as compared with active recovery
Witmer et al. 2010	24 (TR, RT)	1 9 3 back squats at 70 % 1RM	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30 min	No difference in CMJ height or stiffness compared with control for either sex No difference in responses between men and women
Young et al. 1998	10 (TR)	1 9 5 half-squat at 5RM	4 min	: LCMJ height

: increase or increased, ; decrease or decreased, BF biceps femoris, CMJ countermovement jump, DJ drop jump, EMG electromyography, Immed immediately following intervention, LCMJ loaded countermovement jump, MVC maximal voluntary contraction, NS training status or rest interval not specified, RFD rate of force development, RM repetition maximum, RT subjects reported as recreationally trained, TR subjects who have trained at least twice per week for 1 year or athletes, UT untrained subjects who have not participated in any resistance training over the previous year, VL vastus lateralis, VM vastus medialis, WBV whole-body vibration

### 2.5.1 Entraînement complexe (CT)

L'entraînement complexe utilise le principe du potentiel post-tétanique qui fait référence à la théorie qu'une réponse musculaire plus grande sera atteinte si celle-ci est précédée par une contraction musculaire très forte. 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 neurologique agit grandement sur le système nerveux et peuvent être modifiés 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). Cette méthode semble être la plus efficace pour améliorer la performance athlétique puisqu'elle combine deux méthodes d'entraînements, soit une alternance des charges lourdes et des charges légères, soit

d'effectuer un exercice de résistance avant d'effectuer un exercice qui est similaire en terme de biomécanique (Comyns *et al.*, 2007; Docherty *et al.*, 2007; Hodgson *et al.*, 2005; Lesinski *et al.*, 2014). L'entraînement complexe tel que démontré dans la (figure 2.6) a pour but d'augmenter la puissance mécanique de l'exercice choisi. 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 technique d'entraînement impliquant qu'un exercice de force maximale (80% 1RM) soit combiné avec un exercice d'explosion et de puissance, serait plus efficace pour augmenter la PAP, et le stimulus de l'entraînement CT entraînerait des gains de performance supérieurs par rapport à un entraînement conventionnel (Chu, 1996; Docherty *et al.*, 2004; Ebben, 2002; Ebben *et al.*, 1997; Ebben *et al.*, 1998; Maio Alves *et al.*, 2010). Les chercheurs Verkhoshansky *et al.* (1973) ont été les premiers à évaluer l'efficacité de 16 semaines d'entraînement avec la méthode contraste tel que le back squat suivi d'un squat jump (SJ). Ils ont conclu que le groupe d'entraînement complexe surpassait les deux autres groupes (pliométrie vs entraînement résistance seul).

Dans la littérature, la qualité musculaire telle que la production de force et la charge soulevée lors d'un back squat a été démontré comme étant un prédicteur de la performance lors de sprints répétés sur glace chez les joueurs de hockey (Edman *et al.*, 2013; Lagrange 2018). D'autres études ont tenté de tracer une relation entre la force développée sur certains exercices de musculation et la vitesse de patinage (Behm *et al.*, 2005; Farlinger *et al.*, 2007; Potteiger *et al.*, 2010). De tous ces travaux, aucun n'a été en mesure d'identifier un exercice pour lequel une plus grande force produite pourrait prédire l'amélioration durant des sprints répétés. La puissance étant l'une des qualités neuromusculaires les plus importantes dans les sports d'explosion, fait en sorte que la capacité d'un athlète à déplacer une charge lourde avec une plus grande vitesse comparativement à un mouvement contrôlé serait plus adéquate pour

les joueurs de hockey. De plus, lors de l'accélération pendant un sprint, bien que la production de la force verticale soit nécessaire pour atteindre la vitesse maximale, il reste que la composante horizontale de la force de réaction au sol est aussi importante (Lockie *et al.*, 2013; Morin *et al.*, 2011; Weyand *et al.*, 2000). Au hockey, la vitesse de patinage dépend grandement de l'utilisation de notre chaîne postérieure constituée des muscles du bas du dos, fessiers, ischio-jambier et mollet. L'utilisation d'un exercice tel que le soulevé de terre "Deadlift" versus le back squat pourrait offrir un meilleur transfert au niveau de la force horizontale. Pour cette raison, dans notre étude nous avons choisi le "trap bar deadlift" comme exercice de pré-sollicitation musculaire. Celui-ci a été démontré comme étant plus efficace par rapport au soulevé de terre conventionnel pour développer une force, une puissance et une vitesse maximale lors de son exécution (Camara *et al.*, 2016). Plusieurs études ont tenté de démontrer les bienfaits de l'entraînement PAP en mesurant le drop jump et le temps de contact au sol (tableau 2.10). Il reste que l'utilisation de la PAP et la PAPE la journée d'une compétition est sous-utilisée et doit être étudié davantage. Cette méthode pourrait aider à diminuer le déconditionnement chez les joueurs de hockey qui semble être une problématique assez importante durant la saison et qui permettrait de garder les adaptations et les qualités musculaires nécessaires induites par l'entraînement en résistance plus longtemps pour bien performer et réduire les risques de blessures (Mujika, I. *et al.*, 2000; Mujika, Iñigo *et al.*, 2000; Prokop *et al.*, 2016).

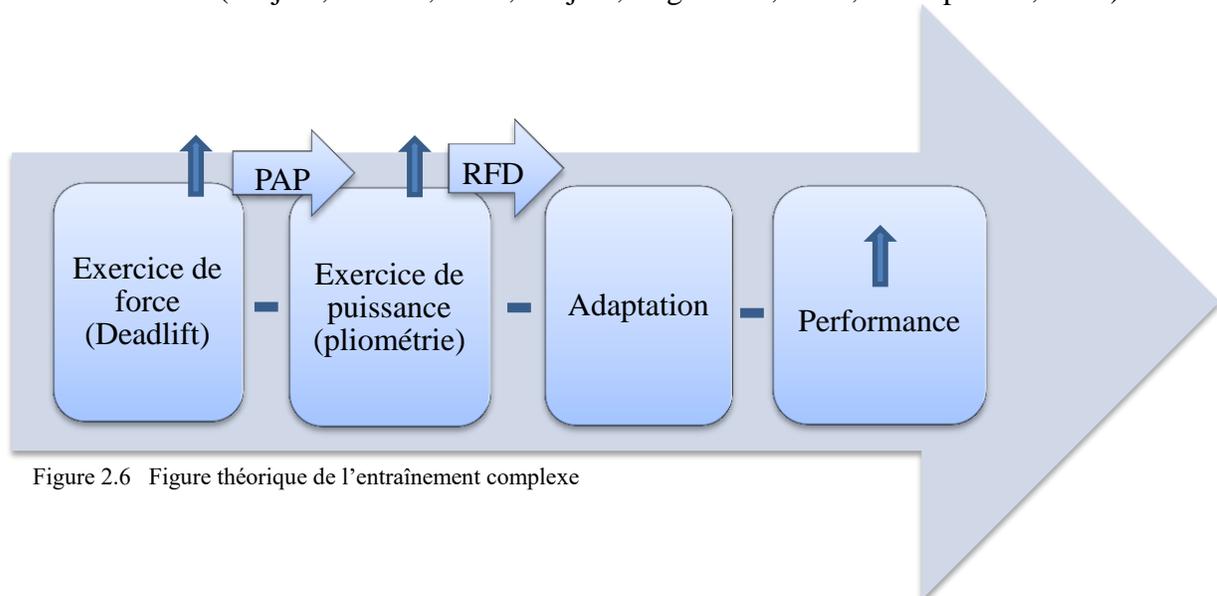


Figure 2.6 Figure théorique de l'entraînement complexe

Tableau 2.10 Sommaire des études examinant les effets de divers protocoles PAP avec le drop et depth jump tiré de l'article (Suchomel *et al.*, 2016)

Study	N (training status)	Intervention	Rest interval(s)	Results
Bergmann et al. 2013	12 (RT)	8 9 10 maximal bilateral hops with 30 s between sets	Immed, 30 s between sets	: DJ height after hops No difference in DJ contact time or ankle and knee angles between hops and control
Comyns et al. 2007	12 (TR)	1 9 3 back squats at 65 % 1RM (A) 1 9 3 back squats at 80 % 1RM (B) 1 9 3 back squats at 93 % 1RM (C)	4 min	: DJ contact time after C : Vertical leg spring stiffness after C : Flight time after A, B, and C : Reactive strength index after B No change in peak force
de Villarreal et al. 2007	12 (TR)	2 9 4 back squats at 80 % 1RM, 2 9 2 back squats at 85 % 1RM (A) 2 9 4 back squats at 80 % 1RM, 2 9 2 back squats at 90 % 1RM, and 2 9 1 back squats at 95 % 1RM (B) 3 9 5 back squats at 30 % 1RM (C) 3 9 5 CMJs with optimal load (D)	5 min, 6 h	: DJ height after A and B at 5 min and 6 h No difference in DJ after C : DJ height at 5 min and 6 h after D
French et al. 2003	14 (TR)	3 9 3-s or 5-s MVC of knee extensors	Immed	: DJ height, peak force, and acceleration impulse after 3-s MVCs No change in DJ after 5-s MVCs
Jones and Lees, 2003	8 (TR)	1 9 5 back squats at 85 % 1RM	Immed, 3, 10, 20 min	No main effects on DJ performance : Biceps femoris activity during propulsive phase of DJ
Naclerio et al. 2014	15 (TR)	1 9 3 back squats at 80 % 1RM with or without WBV at 40 Hz with 1.963-mm amplitude 3 9 3 back squats at 80 % 1RM with or without WBV at 40 Hz with 1.963-mm amplitude	1, 4 min	No main effects for condition 9 volume 9 rest period interaction for best DJ variables : best DJ height after 4 min compared with 1 min : Best DJ height during WBV in both low and high volume conditions
Young and Elliott, 2001	14 (TR)	3 9 5-s MVC of plantar flexors and knee extensors	4 min	No difference in DJ performance

: increase or increased, ; decrease or decreased, CMJ countermovement jump, DJ drop jump, Immed immediately following intervention, MVC maximal voluntary contraction, RM repetition maximum, RT subjects reported as recreationally trained, TR subjects who have trained at least twice per week for 1 year or athletes, WBV whole-body vibration

## 2.5.2 La fenêtre temporelle entre l'entraînement AM et PM

Après plusieurs années d'entraînement, des plateaux sont susceptibles de se produire et ralentir la progression de l'athlète d'un programme à l'autre. La clé pour diminuer les risques de stagnation dans la salle de musculation est de mettre en œuvre des méthodes d'entraînements qui nécessiteront de nouvelles adaptations neurologiques et musculaires. L'une de ces stratégies est de s'entraîner deux fois par jour en ciblant le même groupe musculaire. Cette stratégie a été popularisée par les haltérophiles des pays soviétiques au cours des années 1970 et Ivan Abadjiev, fondateur du système

d'haltérophilie bulgare, a été celui qui a promu cette méthode avec ses athlètes (Roman, 1974). Par contre, le temps de repos entre les entraînements suggérés soit entre quatre et huit heures n'était bâti que par l'expérience des haltérophiles. De plus, ces deux fenêtres temporelles sont les seules possibilités où un joueur de la LNH pourrait effectuer un entraînement PAP d'avant-match considérant leur routine qui sera expliquée dans le tableau 5.1 à la p.115 (Journée de match typique chez les joueurs de hockey). Dernièrement, quelques chercheurs ont conclu que les effets potentialisateurs d'un entraînement PAP pouvaient augmenter jusqu'à 18 % la force déployée à comparer à ceux qui n'avaient pas effectué l'entraînement PAP plus tôt (Verkhoshansky *et al.*, 2011). Une étude a démontré que les charges près du 80 % 1RM étaient les plus optimales pour la PAP, puisqu'ils ont démontré que les athlètes pouvaient déployer une puissance plus élevée à la suite des charges équivalentes à 78 % 1 RM comparativement à des charges légères entre 30-55% 1 RM (Hatfield, 1989). C'est par la suite que les chercheurs ont commencé à s'y intéresser, puisque peu de données existent sur le temps de récupération que devrait avoir l'athlète entre l'entraînement AM et PM. Une étude n'a démontré aucune diminution du saut vertical, de la puissance anaérobie ou de la précision de tir chez les joueurs de basketball universitaire six heures après un entraînement en résistance modérée (Woolstenhulme *et al.*, 2004). Alors qu'une autre étude a démontré que les athlètes avaient récupéré suffisamment trois heures après un entraînement en résistance modéré lors des tests physiques d'extension du genou et du saut de détente (SJ) (Raastad *et al.*, 2000). Tels que cités dans l'introduction de cette thèse, les effets neurologiques d'un entraînement PAP avant une compétition ou entre deux entraînements permettraient à l'athlète de se démarquer comparativement aux autres jusqu'à 24 heures plus tard (Bompa *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2011; Chiu *et al.*, 2004; Ekstrand *et al.*, 2013; González-Badillo *et al.*, 2016; Lagrange *et al.*, 2020; Raastad *et al.*, 2000; Tsoukos *et al.*, 2018)

### 2.5.3 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. Le rythme circadien, qui est un cycle d'environ 24 heures qui affecte les processus physiologiques et comportementaux, est reconnu comme l'un des nombreux modulateurs et indicateurs de la performance dans le monde athlétique. Il est important de prendre en considération que l'âge et le sexe sont d'autres facteurs importants qui peuvent affecter la chronobiologie des athlètes. Par exemple, une étude a conclu 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. En effet, (Ekstrand *et al.*, 2013) a démontré qu'un entraînement en résistance six heures avant (AM) qui consistait d'un back squat effectué jusqu'à épuisement musculaire et d'un exercice d'haltérophilie soit le power clean, améliorerait la distance parcourue du lancer du poids chez des athlètes élités. De plus, une amélioration de la performance (PM) a été observée lorsque des joueurs de rugby effectuaient six heures avant des sprints (5 x 40 mètres) sur les résultats de la puissance développée du sprint de 40 mètres, d'un développé couché 3RM et d'un squat (Cook *et al.*, 2014). Du même point de vue, l'étude de (Russell *et al.*, 2015) a comparé l'efficacité de plusieurs méthodes exécutées en AM sur les performances PM, effectuées cinq heures avant ceux-ci et la majorité des études ont été en mesure d'améliorer les performances des sprints et des sauts tout en ayant un effet direct sur la testostérone au niveau salivaire. Ces recherches ont démontré

qu'avec les entraînements AM les athlètes sont en mesure d'atténuer le déclin au niveau du rythme circadien de la concentration hormonale.

## 2.6 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. Il a été récemment prouvé qu'un attaquant de la LNH passerait environ 22,7 secondes d'une présence sur glace avec une intensité maximale ou quasi maximale de patinage (Lignell *et al.*, 2018). De plus, un joueur typique jouera en moyenne de 15 à 20 minutes pendant 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 *et al.*, 1995). Dans une analyse récente de 35 joueurs de la LNH (24 attaquants et 11 défenseurs), les joueurs au cours d'une partie ont réalisé un total de 19 sprints totalisant 26 mètres en moyennes et ils ont effectué 94 mini sprints (15-16 mètres) à haute intensité (Lignell *et al.*, 2018). La haute consommation d'oxygène (54.6-59.2 ml O<sub>2</sub> kg/min) lors d'une situation de jeu est un indicateur de l'intensité de ce sport (Leger *et al.*, 1979; Montgomery, 2006). 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 al.*, 2014). De plus, la position du joueur influencera grandement les filières énergétiques utilisées. Une étude récente sur 51 joueurs de la ligue américaine de hockey a été en mesure de démontrer que le volume de temps de jeu et l'intensité d'une partie diffèrent selon la position du joueur et que les défenseurs avaient une intensité plus faible pendant les parties que les attaquants (Allard *et al.*, 2020). Selon Cox et al. (1995), un défenseur joue en moyenne 38 % de la partie, tandis qu'un attaquant jouera moins de 35 % de celle-ci (Cox *et al.*, 1995). En général, les

défenseurs parcourent 29% plus de distance de patinage et ont passé 47% plus de temps sur la glace que les attaquants (Lignell *et al.*, 2018). Par contre, les attaquants parcourent 54% plus de distance en patinant à haute intensité (Lignell *et al.*, 2018). Bref, 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 (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).

### 2.6.1 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). Le taux de développement de force est essentiel dans les changements de direction rapides (Marshall *et al.*, 2014; Spiteri *et al.*, 2015). 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 (Holloszy *et al.*, 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 sanguine réduisant rapidement la concentration de lactate dans le sang (Tesch *et al.*, 1983; Thebault *et al.*, 2011). Par contre, les préparateurs physiques ne devraient pas planifier ou rajouter 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). De ce fait, la figure de Billaut et Bishop (figure 2.7) démontrent que les intervalles à haute intensité, tels que ceux pratiqués au hockey, améliorent la capacité aérobie et le  $VO_2$  max. Il n'est donc pas nécessaire d'accentuer l'emphase sur des entraînements de la filière aérobie chez les joueurs de hockey.

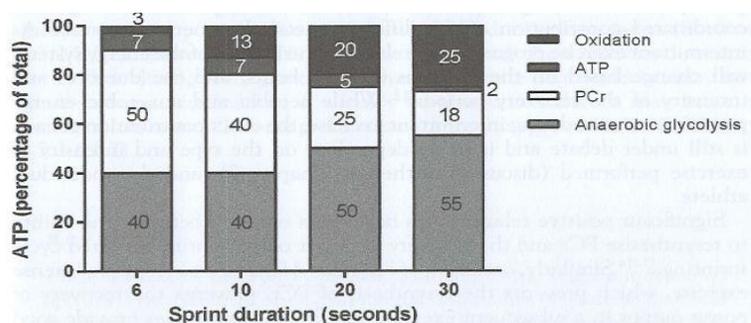


Figure 2.7 Contribution des systèmes énergétiques avec la durée du temps des sprints (Billaut *et al.*, 2009; Zwiren *et al.*, 1973).

## 2.6.2 Les prédicteurs hors-glace de performance sur la glace

Une multitude de facteurs influence la performance d'un joueur de hockey sur glace. En tant que préparateur physique, il est notre devoir de bien comprendre les corrélations entre les tests physiques hors-glace et leurs transferts sur la glace au point de vue physiologique puisqu'ils sont régulièrement utilisés dans les camps d'entraînement de la LNH (Chiarlitti *et al.*, 2018; Delisle-Houde *et al.*, 2019). Plusieurs recherches existent sur les caractéristiques physiques hors-glace et la vitesse sur la glace (Delisle-Houde *et al.*, 2018). Depuis 1992, les sauts en hauteur et longueurs ont été démontrés comme les meilleurs prédicteurs pour estimer la vitesse de patinage chez les joueurs de hockey (Mascaro *et al.*, 1992; Runner *et al.*, 2016). Chez les joueurs de hockey "élites", les indicateurs de performance des membres inférieurs dans les tests physiques hors-glace semblent être associés à la performance de la vitesse de patinage sur glace en considérant les corrélations observées dans plusieurs recherches entre le test Wingate (puissance relative moyenne et maximale), les back squat avec une charge lourde (80% 1 RM) et la performance au leg press (Burr *et al.*, 2008; Dæhlin, Torstein E *et al.*, 2017; Edman *et al.*, 2013; Haukali *et al.*, 2015; Hoff *et al.*, 2005; Mascaro *et al.*, 1992; Peterson *et al.*, 2016; Peterson *et al.*, 2015; Peyer *et al.*, 2010; Runner *et al.*, 2016). Bien que la capacité aérobie et la consommation maximale d'oxygène aient augmenté depuis 1992 entre 54.6 à 59.2 ml/kg/min (V02 max) (Montgomery, 2006), leurs contributions à la performance de pouvoir répéter des sprints sur glace au hockey élites restent mitigées. Tout comme le pourcentage de graisse corporelle et les tests d'agilité qui sont fréquemment mesurés. Malgré plusieurs tests physiques utilisés par les préparateurs physiques pour analyser le potentiel physique chez un joueur de hockey, seuls le saut vertical et le saut en longueur demeurent un facteur de prédiction significatif à une amélioration de l'accélération et aux performances sur la glace (Mascaro *et al.*, 1992; Runner *et al.*, 2016). Bref, le taux de développement de force (RFD) au niveau des membres

inférieurs, tant horizontalement que verticalement, semble être le facteur qui contribue le plus à la performance et à la vitesse sur glace. Bien que l'accélération et la vitesse de patinage soient sans aucun doute des éléments essentiels du succès d'un joueur de hockey sur glace, il ne faut pas oublier les autres facteurs liés à la condition physique qui contribuent au succès sur glace, notamment la taille, la force, le conditionnement (cardiovasculaire), la coordination et la qualité du mouvement comme la technique de patinage.

## CHAPITRE III

### MÉTHODOLOGIE

Ce projet avec une approche expérimentale a pour objectif d'observer ce que pourraient amener les effets neurologiques en lien avec la performance post-activation (PAPE) et sur l'augmentation de la performance des sprints répétés des joueurs de hockey lorsqu'exécutée plusieurs heures avant la compétition. De plus, en nous basant sur la revue de la littérature, nous pouvons nous appuyer sur plusieurs recherches qui pourraient expliquer ce phénomène. Par conséquent, l'objet de la recherche vise à évaluer la fenêtre temporelle optimale et de déterminer la durée des effets neurologiques d'un entraînement complexe (CT) qui a pour but d'augmenter la performance post-activation (PAPE) si l'entraînement est exécuté huit ou quatre heures avant une compétition.

#### 3.1 Les participants

##### 3.1.1 Population et mode de sélection

L'échantillon utilisé était composé de jeunes hommes de 18 à 22 ans inscrits au programme de hockey sur glace de niveau AHL et NHL. La taille de notre échantillon de 10 sujets est justifiée avec notre clientèle spécifique, soit des athlètes professionnels de hockey. Donc, les participants recrutés ont été divisés en deux groupes de façon aléatoire aux fins de notre étude : un groupe (8HPT) 8 heures avant les tests physiques et un groupe (4HPT) 4 heures avant les tests physiques. La

sélection de notre modèle expérimental était justifiée par : (1) les modèles expérimentaux similaires publiés sur l'amélioration des sauts chez des athlètes suite à un entraînement PAP (Gouvea *et al.*, 2013; Suchomel *et al.*, 2016; Wilson *et al.*, 2013), (2) la validation de notre modèle expérimental sur 41 joueurs de hockey (Lagrange *et al.*, 2020) et (3) qu'aucun effet d'apprentissage et d'amélioration ne pouvait être observé entre les groupes en séparant la prise des données entre les mesures pré et post tests de plus d'une semaine de différence (Faude *et al.*, 2013; Faude *et al.*, 2014; Hecksteden *et al.*, 2018). De plus, cette taille d'échantillon était assez élevée pour notre projet afin de pouvoir obtenir des résultats statistiquement significatifs au niveau de la saturation des données. Un calcul de puissance (G\*Power, Ver. 3.1.9.6) en utilisant les résultats de Lagrange et al (2020) sur la variable primaire du temps total de sprint a révélé qu'un échantillon total de 8 sujets, soit de 4 par groupe, était requis. Le calcul de puissance a été effectué en retenant un effet de taille (ET) de 1.0, une valeur *alpha* de 0.05, et *beta* de 0.80 sur un modèle ANOVA à mesures répétées sur deux facteurs (groupe x temps). Pour respecter la prémisse du test ANOVA sur les valeurs des populations, les calculs ont été effectués sans les valeurs extrêmes dues au petit échantillon de notre projet. Le recrutement total était de 10, alors 2 de plus que requis par le calcul de puissance. Donc, les participants recrutés ont été divisés en deux groupes (n=5 par groupe) de façon aléatoire aux fins de notre étude. D'autre part, la sélection de ces joueurs de hockey de haut niveau a été possible grâce à la compagnie Axxeleration qui a la responsabilité de la préparation physique de ces joueurs pendant la saison estivale.

La collecte de données a été effectuée au mois de juin 2019, soit pendant la saison estivale pour ces athlètes sélectionnés pour le projet. Il est important de mentionner que les sujets choisis ne s'adonnaient à aucun entraînement (PAP) d'avant match par méthode complexe la journée même de leur compétition avant cette étude.

### 3.1.2 Critères d'inclusion

Les critères d'inclusion étaient les suivants:

- Etre âgé de 18 ans et plus ;
- Faire partie d'une équipe de hockey élite ou professionnel ;
- Avoir un minimum de 2 années d'expérience d'entraînement en résistance ;
- Avoir suivi un programme en résistance au minimum de 2 x semaine dans la dernière année.

### 3.1.3 Critères d'exclusion

Les critères d'exclusion étaient les suivants:

- Impossibilité de participer à la totalité de l'étude ;
- 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 de 2 années d'expérience d'entraînement en résistance ;
- Ne pas évoluer dans une équipe élite ou professionnel pendant l'année du déroulement du projet ; et
- Ne pas avoir suivi au minimum 2 x semaine un programme en résistance dans la dernière année.

### 3.1.4 Aspects déontologiques et consentement

Cette recherche a reçu l'approbation du comité de déontologie du département de kinanthropologie (CDKIN) et du sous-comité du comité institutionnel d'éthique de la recherche chez l'humain (CERPE plurifacultaire) de l'UQAM (voir Appendice B). 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 pendant la saison de hockey chez ces joueurs. Chaque joueur pouvait 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.

## 3.2 Dispositifs de mesure hors-glace

### 3.2.1 Mesures anthropométriques

Dans un premier temps, le poids a été relevé à l'aide d'un pèse-personne numérique (MyWeight MD-500, voir figure 3.1). Cette balance de qualité médicale a une capacité de maximale de 225 kg. Cette mesure anthropométrique de la masse totale nous permet, à l'aide d'une mesure de la composition corporelle, d'établir une approximation de leur masse musculaire. La composition corporelle athlétique, est un déterminant important dans la performance du hockey sur glace (Burr *et al.*, 2008). Par la suite, la stature (taille) a été mesurée à l'aide d'un ruban à mesurer installé verticalement au mur. Cette mesure nous donne la distance comprise du crâne à la plante du pied pour un sujet.

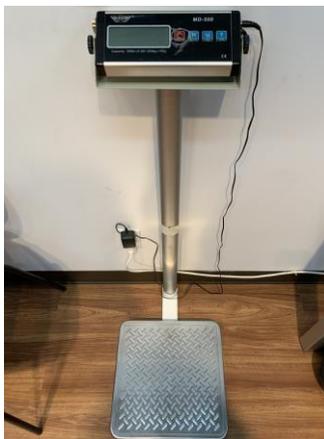


Figure 3.1 Pèse personne Myweight MD-500

La composition corporelle fût mesurée à l'aide de la mesure de 10 plis cutanés selon la démarche indiquée par (Allen *et al.*, 1956) (figure 3.2) en utilisant une pince spécialisée (Harpenden, Baty International, United Kindom). La prise de gras sous-cutanés est fréquemment utilisée chez les préparateurs physiques de la LNH. De plus, cette formule semble être la plus précise chez une population athlétique avec une marge d'erreur de  $\pm 2\%$  comparativement à la méthode de référence, soit la pesée hydrostatique basée sur les principes d'Archimède (Zwiren *et al.*, 1973). Pour renforcer la fiabilité des résultats les principes généraux suivants étaient respectées lors de la collecte des données : (1) les mesures étaient effectuées par la même personne, (2) la mesure des plis était fait sur l'hémicorps droit par convention, (3) le pli devait s'imprimer entre le pouce et l'index et devait exclure la masse musculaire sous-jacente, (4) la mesure avec la pince devait être prise perpendiculairement à la surface cutanée, (5) la mesure devait être prise sur chaque site trois fois avec une différence de moins de 0,4mm. La valeur qui était retenue correspondait à la moyenne des trois mesures, (6) les plis devaient être mesurés avec la pince Harpenden qui est la seule pince ayant fait l'objet de validation (Sloan *et al.*, 1972).

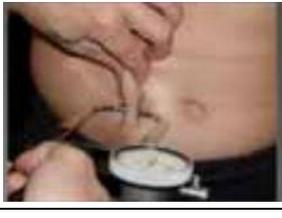
$$\begin{aligned}
 &1) \% \text{ graisse} = \frac{\text{graisse (kg)} \times 100}{\text{poids (kg)}} \\
 &2) \text{ graisse (kg)} = 0,7 \times \text{tissu adipeux (kg)} \\
 &3) \text{ TA (kg)} = \text{Poids (kg)} \times \sqrt{\frac{\frac{\Sigma 10 \text{ plis} - 40 \times (\text{surf. Corp. (m}^2) \times 0.739}{20}}{\text{Poids (kg)}} - 0.003}{} \\
 &4) \% \text{ TA} = \frac{\text{graisse (kg)} \times 100}{\text{poids (kg)}} \\
 &5) \text{ Masse maigre (kg)} = \text{poids (kg)} - \text{graisse (kg)} \\
 &\text{Surface corporelle} = \sqrt{(\text{poids (kg)} \times \text{grandeur (cm)}) \div 3600} \\
 &\text{Sommes 10 sites} = (\text{Menton} + \text{Joue} + \text{Pectoral} + \text{Triceps} + \text{Sous-scapulaire} + \text{Axillaire} + \text{Supra-} \\
 &\text{iliaque} + \text{abdomen} + \text{genou} + \text{mollet})
 \end{aligned}$$

Figure 3.2 Formules selon Allen et coll. Tel que modifié par Zwiren et coll (Zwiren *et al.*, 1973)

La localisation des plis cutanés selon Allen étaient les suivants :

Tableau 3.1 La localisation des plis cutanés

<b>(1) Menton</b>		Le menton sera pris verticalement. Le site est localisé au point médian entre la pointe du menton et la base du cou.
<b>(2) Joue</b>		La joue sera prise verticalement entre le point d'intersection entre le coin de l'œil et la ligne suivant le coin de la bouche.
<b>(3) Triceps</b>		Le pli tricipital sera pris au vertical sur la face postérieure du triceps. Ce pli est à la mi-distance entre l'insertion haute (acromion de l'épaule) et basse (olécrane du coude).
<b>(4) Pectoral</b>		Le pli pectoral sera pris à mi-distance entre la ligne axillaire antérieure (entre deltoïde et pectoral) et le mamelon.
<b>(5) Sous-scapulaire</b>		Le pli sous-scapulaire sera pris obliquement vers le bas sur la face postérieure. Le pli se situe juste sous la pointe de l'omoplate (1cm).
<b>(6) Axillaire</b>		Le pli axillaire médial sera pris au point médian entre le centre de l'aisselle et le sommet de la crête iliaque avec un angle de 45°.

<b>(7) Supra-iliaque</b>		Le pli supra-iliaque sera pris obliquement au-dessus de la crête iliaque (2cm), à son intersection avec la ligne axillaire antérieure.
<b>(8) Abdomen</b>		Le pli ombilical sera pris verticalement à 2cm à droite de l'ombilic.
<b>(9) Genou</b>		Le genou sera pris verticalement au milieu de la rotule.
<b>(10) Mollet</b>		Pour le mollet nous allons demander au sujet de placer le pied droit sur une marche, détendu, le genou plié à un angle de 90°. Le pli sera pris verticalement entre la distance du bord médial du tibia et de la ligne verticale de l'Achille au niveau de la partie charnue.

### 3.3 Les tests neuromusculaires

#### 3.3.1 Le contre-mouvement jump (CMJ), squat jump (SJ)

Pour notre projet, le test était fait avec un tapis de Bosco et comparé à la formule de Sayers pour mesurer la puissance déployée des membres inférieurs (figure 3.3). 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).

De plus, il s'avère être un appareil très fiable avec une marge d'erreur entre 5,65-9,38% (2,15-3,53cm) (Pueo *et al.*, 2018). La formule utilisée du tapis de Bosco étant :  $hauteur\ du\ saut\ (m) = [9,81 \times temps\ de\ vol\ (sec) \times temps\ de\ vol\ (sec)]/8$  à comparer de la formule développée par Sayers =  $(60,7) \times hauteur\ du\ saut\ (cm) + 45,3 \times masse\ corporelle\ (kg) - 2055$  (Sayers *et al.*, 1999). L'exécution de ce test était très rapide et nous indiquait l'impulsion verticale de l'athlète. Pour ce qui était de la procédure CMJ, le participant se plaçait sur le tapis de Bosco. Lorsqu'il était prêt, il fléchissait ses genoux et abaissait les bras puis sautait le plus haut possible en poussant avec ses jambes dans le sol. Pour le SJ, l'athlète commençait à partir d'une position stationnaire et devait maintenir un angle au niveau des genoux de 90° pendant trois secondes avant de sauter. Lors de l'atterrissage, le tapis de Bosco nous indiquait une mesure. Pendant les tests de sauts, l'athlète plaçait les mains sur les hanches pour éliminer la contribution des bras et pour diminuer les différences entre les techniques de saut.



Figure 3.3 Saut en hauteur avec le tapis de Bosco



Figure 3.4 L'installation du GymAware sur le tapis de Bosco

De plus, la puissance déployée était mesurée avec le GymAware, Kinetic Performance Technology, Canberra, Australia. Le logiciel GymAware (Lite V2.10, GymAware Kinetic Performance Technology, Canberra, Australia) était connecté à un iPad 3 (Apple Inc., É.-U.) via une connexion Bluetooth. L'appareil était attaché à l'aide d'une plaque métallique de 10 lbs et était calibré avant que chaque participant n'effectue les sauts (CMJ et SJ). Le GymAware était fixé à l'athlète via une ceinture à la taille pendant les pré et post tests de l'intervention (figure 3.4).

### 3.3.2 Le saut en longueur

Ce test qui mesure la puissance des membres inférieurs requiert seulement un ruban à mesurer installé sur le sol. Pour la procédure du saut en longueur, le participant prenait place à la ligne de départ, les bras allongés et les jambes à la largeur des épaules. Lorsque le joueur était prêt, il fléchissait les jambes, abaissait les bras puis tendait rapidement les jambes tout en utilisant les bras pour sauter le plus loin possible. La mesure prise était l'endroit où le dernier talon arrière entraînait en contact avec le sol. Il était important que le participant conserve sa position finale sinon le test devait être refait pour que la mesure soit précise. Le participant effectuait deux essais et le meilleur résultat était pris en note.



Figure 3.5 Saut en longueur

### 3.3.3 Le ratio du taux d'utilisation excentrique (EUR) et efficacité du cycle-d'étirement raccourcissement (CER)

Le taux d'utilisation excentrique était calculé en divisant le résultat du saut balistique (CMJ) par le saut statique (SJ) et le pourcentage du CER (SSC%) sera calculé avec la formule suivante :  $(CMJ/SJ)/SJ$ .

### 3.3.4 L'indice de force réactive (RSI)

À l'aide du tapis de Bosco et du capteur G-Flight, nous avons évalué les performances du saut vertical (CMJ) et le temps de contact au sol. L'appareil est composé de deux unités Bluetooth sans fil qui fonctionnent en utilisant la technologie des micros-capteurs et des faisceaux laser afin que les deux unités puissent communiquer entre elles jusqu'à 19 pieds (figure 3.6).



Figure 3.6 G-Flight Set-up

Le RSI était calculé en divisant la hauteur du saut vertical (cm) par le temps de contact au sol (ms) pendant la phase de rebond lors d'un drop jump (Flanagan *et al.*, 2008). Pour le test du drop jump, le test commençait à partir d'une boîte d'une hauteur de 30 cm et progressait de 15 cm jusqu'à 75 cm (tableau 3.2 et figure 3.7). La moyenne des trois essais à chaque hauteur du drop jump était retenue. Le test se

terminait lorsque le temps de contact au sol de l'athlète augmentait au-delà de 0,25 ms puisque la performance de l'athlète commençait à décliner. Le temps de contact au sol pendant le test pouvait être compris entre 130-300 ms (Ball *et al.*, 2010; Walsh *et al.*, 2004), comme le temps de contact de nombreux mouvements sportifs tels qu'exécutés au hockey. Par la suite, le seuil d'indice de force réactive pour le test du drop jump (RSI) était obtenu et comparé à la figure 3.8.

Tableau 3.2 Exemple de la progression de la hauteur de la boîte lors d'un test drop jump

Hauteur de la boîte (cm)	Hauteur du saut (cm)	Temps de contact au sol (s)	RSI (hauteur du saut/temps)
30	38.9	0.155	251
45	40.8	0.153	267
60	40.1	0.141	284
75	37.1	0.142	261



Figure 3.7 Exemple de l'exécution du test Drop jump avec le G-Flight

<b>&lt;1.5 RSI</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taux de développement de force faible.</li> <li>• L'athlète n'est pas prêt à recevoir un volume à intensité modérée de pliométrie.</li> <li>• L'emphase devrait être sur l'augmentation de force maximale et l'incorporation d'exercice de pliométrie à faible intensité pour améliorer la technique.</li> </ul>
<b>1.5-2.0 RSI</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taux de développement de force modéré.</li> <li>• L'athlète est prêt à recevoir un volume à intensité modérée de pliométrie.</li> <li>• L'emphase devrait être sur la capacité à générer rapidement la force en vitesse.</li> </ul>
<b>2.0-2.5 RSI</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taux de développement de la force bien établie.</li> <li>• L'athlète est prêt à recevoir un volume à intensité élevée de pliométrie.</li> </ul>
<b>&gt;2.5-3.0 RSI</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taux de développement de la force très élevée.</li> <li>• L'athlète a atteint le plus haut volume à l'entraînement de pliométrie (point de non retour)</li> <li>• Avoir un ratio plus élevé (RSI) n'est plus une priorité pour augmenter la performance dans son sport.</li> </ul>
<b>&gt;3.0 RSI</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taux de développement de la force maximale pouvant être atteint.</li> <li>• La possibilité d'augmenter son ratio RSI après ce stage pour améliorer les performances sportives n'est plus possible.</li> </ul>

Figure 3.8 Figure du seuil d'indice de force réactive pour le test du drop jump

### 3.3.5 Le test de la force de préhension

La force de préhension était mesurée à l'aide d'un dynamomètre *Baseline 200 lbs standard Head Hydraulic* à main et avait été mesurée en kilogramme (kg) deux fois dans chaque main (figure 3.9). La procédure du test était fondée sur le guide du conseiller en condition physique et les habitudes de vie (Wong, 2016) De plus, nous avons mesuré le ratio entre l'indice de force réactive (RSI) et de la force de préhension.. Le ratio était pris à chaque étape du test du drop jump (après le saut de 30 cm, 45 cm, 60 cm et 75 cm RSI / Grip test).



Figure 3.9 Test de préhension

### 3.4 Les tests sur glace

#### 3.4.1 Le *Peterson on-ice repeated shift test*

La majorité des tests de hockey sur glace consistent en des tests spécifiques aux habiletés qui sont malheureusement effectués dans des contextes qui ne représentent pas une présence sur glace durant une partie de hockey. Le test de Peterson et al. (2015), permet d'enlever ces limitations des tests sur glace en créant un test d'aptitude aux changements de vitesse, et d'offrir une bonne évaluation des habiletés des joueurs durant des performances de sprint répétés qui reproduit de près une présence sur glace durant une partie (Peterson *et al.*, 2015). Le "*Peterson on-ice test*" de consistait à répéter 8 sprints sur glace d'une durée d'environ 23 secondes avec 90 secondes de repos entre chaque sprint et a été validé chez des joueurs de hockey universitaires NCAA Division 1 (Peterson, 2014). L'utilisation de cellules photoélectriques-timing gates (*Brower Timing Tci Wireless Timing system Smart Start*) servaient pour calculer le temps des sprints. Ces capteurs étaient placés au départ, à la hauteur du cercle de mise en jeu en face de la zone du gardien de but, à mi-chemin entre la ligne bleue et la zone du gardien de but dans les deux zones (distance 40 mètres entre le 2e capteur et le 3e capteur) et à la fin du test (figure 3.10). L'utilisation de cellules photoélectriques lors du test sur glace indiquait le temps exact que le joueur avait pris pour exécuter les sprints. Nous avons par la suite comparé la différence des sprints par leur vitesse d'exécution avec la fiabilité de ces capteurs.

Pour débiter, le joueur se plaçait à la ligne de mise en jeu, derrière les "timings gates" #1. Lorsque le départ était annoncé, le joueur sprintait jusqu'à la ligne bleue et effectuait un virage brusque pour repartir en se poussant avec la jambe gauche le plus rapidement possible à l'enclave opposée du gardien de but. Ensuite, le joueur faisait

un virage brusque et repartait en poussant le plus rapidement avec la jambe droite et patinait la longueur de la glace avant de tourner autour du cercle de mise en jeu en faisant des croisées vers la gauche. Après avoir atteint le sommet du cercle, le patineur sprintait vers le bas du cercle droit, en faisant des croisées vers la droite avant de patiner le plus rapidement possible jusqu'à la ligne rouge. À la fin de chaque sprint, la fréquence cardiaque était enregistrée avec l'aide d'un oxymètre de doigts placé sur l'index du joueur. Lors de l'analyse de nos données, plusieurs formules ont été utilisées tels que la diminution (%) fatigue, indice de fatigue et le sprint idéal pour analyser la performance des sprints répétés qui sera décrites dans la section résultats et présentés dans l'Appendice F.

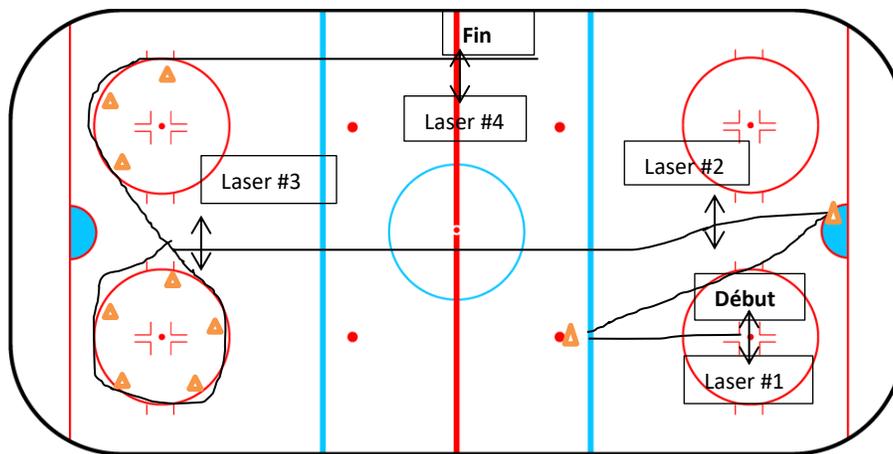


Figure 3.10 Le Peterson on-ice repeated shift test (Peterson, 2014; Peterson *et al.*, 2015)

### 3.4.2 La perception de l'effort (RPE)

Afin de quantifier la perception subjective de l'effort de nos sujets pendant les sprints, nous avons utilisé l'échelle de CR-10 de Borg présenté au tableau 3.3 (Borg, 1982, 1998). La mesure de perception de l'effort (RPE) est une méthode qui évalue la perception individuelle à l'effort de l'individu et nous permet de quantifier l'interprétation que perçoit l'athlète pendant les efforts à haute intensité (Setruk *et al.*,

1995). Nous avons pris les lectures entre chacun des sprints répétés sur glace (figure 3.10). Celle-ci occupe une place importante puisqu'elle nous donne une information complémentaire selon l'intensité de l'exercice. De plus, nous avons fait de même après chacune de nos séries dans la salle de musculation lors de notre procédure expérimentale (tableau 3.4) (Zourdos *et al.*, 2016)

Tableau 3.3 Échelle de CR-10 de Borg  
(Borg, 1982, 1998)

Échelle RPE	Perception à l'effort
<b>Score</b>	<b>Perception de l'effort</b>
<b>0</b>	Rien du tout
<b>0.5</b>	Très très facile
<b>1</b>	Très facile
<b>2</b>	Facile
<b>3</b>	Moyen
<b>4</b>	Un peu difficile
<b>5</b>	Difficile
<b>6</b>	
<b>7</b>	Très difficile
<b>8</b>	
<b>9</b>	
<b>10</b>	Très très difficile (Maximal)

Tableau 3.4 Échelle RPE à l'entraînement  
(Zourdos *et al.*, 2016)

Échelle RPE	Perception à l'effort
<b>Score</b>	<b>Perception de l'effort</b>
<b>10</b>	Effort Maximale
<b>9</b>	1 répétition en réserve
<b>8</b>	2 répétitions en réserve
<b>7</b>	3 répétitions en réserve
<b>5-6</b>	4-6 répétitions en réserve
<b>3-4</b>	Effort léger
<b>1-2</b>	Effort léger à aucun effort

### 3.5 Entraînement complexe (CT)

La séance d'entraînement était composée de trois séries de cinq répétitions d'un soulevé de terre avec la barre hexagonale "trap bar deadlift"(TBD) à 85 % du 1 RM de la capacité maximale de l'athlète avec un tempo lent de 4-1-X-1 avant d'effectuer un saut sur boîte. La durée de la séance était d'environ 30 minutes incluant l'échauffement (tableau 3.5). 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 1 s avec les genoux fléchis à 90° et avec la barre hexagonale déposée au sol pour éliminer 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. L'échauffement était constitué de trois séries de cinq répétitions en augmentant graduellement le poids sur la barre pour finalement commencer notre première série à environ 85% du 1RM (charge maximale de l'athlète). De plus, l'athlète, avec son expérience en musculation et avec les résultats fournis par leurs préparateurs physiques, était en mesure de nous prédire le poids qu'il serait en mesure de lever pour cinq répétitions, basé sur ces entraînements passés. Pour notre saut de pliométrie, soit le saut sur boîte "box jump", l'athlète se plaçait proche de la boîte de 60 cm, hanches vers l'arrière, genoux légèrement fléchis à 45° avant de balayer les bras de l'arrière vers le haut afin d'enclencher un saut vertical. L'athlète devait atterrir avec les pieds plats sur la boîte et avec les jambes droites. Lors de la descente l'athlète devait revenir en position initiale au sol pied par pied, comme lors d'une descente de marches avant d'enchaîner la prochaine répétition pour un total de six sauts. Un repos de 30 secondes était alloué entre le TBD et les sauts pliométriques (Box Jumps) avant de prendre un repos de quatre minutes entre chaque série pour un total de trois séries.

Tableau 3.5 L'entraînement Complexe (CT)

Ordre	Exercices	Série	Répétitions	Tempo	Repos <sub>(sec)</sub>	Poids (%)	RPE
Échauffement A1	Trap bar Deadlift	4	6 ,4 ,2, 1	4-1-X-1	90-240	83%, 88%, 94%, 100%	
	Trap bar Deadlift	3	5	4-1-X-1	15	85% 1 RM	
A2	Box Jump (60cm)	3	6		240		

Le programme d'entraînement se retrouve à l'Appendice C de la thèse. De plus, au cours de cette séance, nous avons recueilli des données avec le logiciel GymAware (*Lite V2.10, GymAware Kinetic Performance Technology, Canberra, Australia*) qui était branché à un iPad 3 (Apple Inc., É.-U.) via une connexion Bluetooth (figure 3.11). Cet outil est fiable avec une marge d'erreur entre 0,74-3,25% et a été validé par plusieurs recherches (O'Donnell *et al.*, 2018; Wadhi *et al.*, 2018). L'appareil était attaché à l'aide d'une plaque métallique de 10lbs installée sur le côté de la TBD qui était calibré avant chaque série. La puissance maximale développée (Peak Power), le tonnage levé (lb) et le RPE étaient prélevés à chaque série pendant la séance d'entraînement.

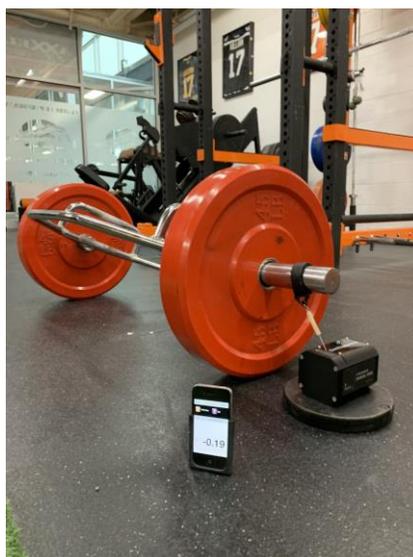


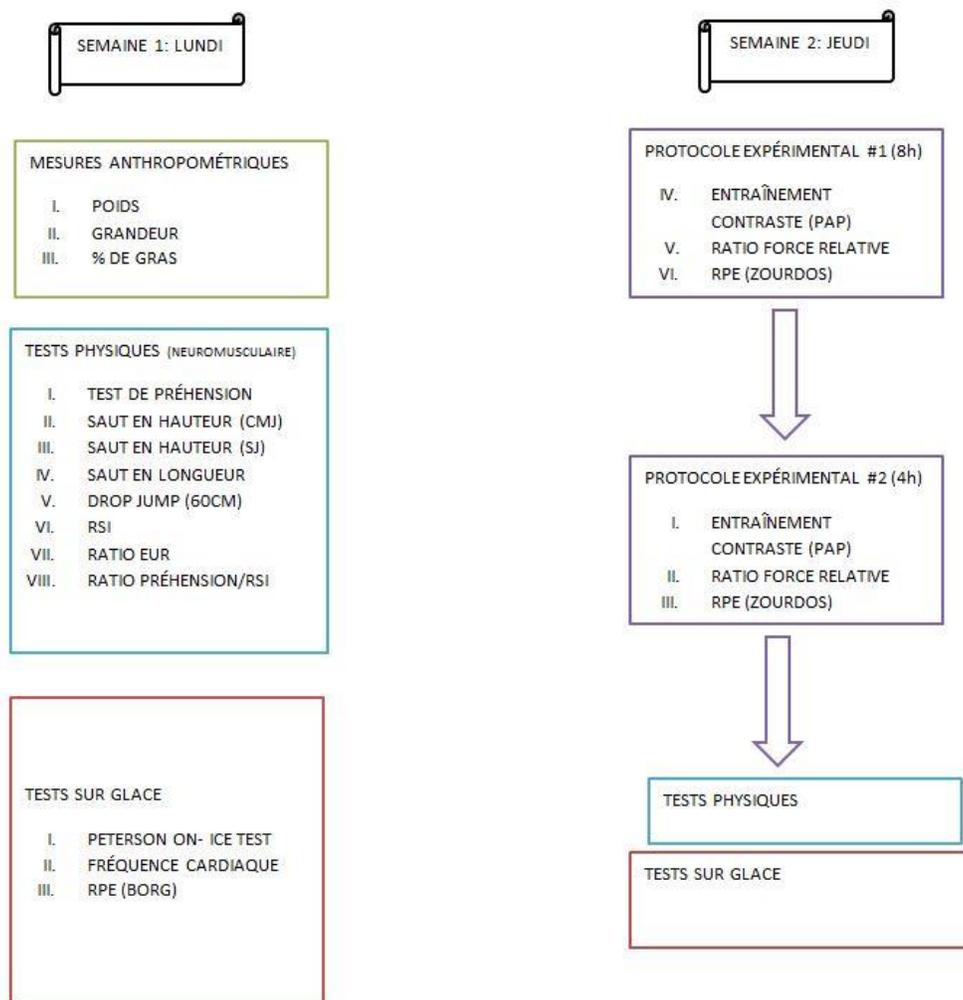
Figure 3.11 Installation du GymAware sur la Trap Bar Deadlift

### 3.5.1 La force relative de l'athlète

Une autre donnée intéressante prise pendant la séance d'entraînement en musculation était l'estimation du 1RM de l'athlète que nous avons calculé à l'aide la formule de Wathen (LeSuer *et al.*, 1997) et qui nous permettait de connaître la force relative de l'athlète (poids soulevé/poids corporel x 100).

### 3.6 Schéma de l'expérimentation

Voici un schéma du déroulement de notre projet



### 3.6.1 Procédure expérimentale et déroulement du projet

La collecte de données s'est déroulée au mois de juin 2019 à Châteauguay. Le projet regroupait 10 joueurs de hockey de niveau professionnel au Centre de Performance Axxeleration à l'intérieur du Centre Multisport de Châteauguay. La durée du projet fût étalée sur 10 jours. La première journée de l'expérimentation comportait une rencontre afin de se familiariser et expliquer aux joueurs les tests physiques et l'entraînement de style complexe en salle de musculation. Après cette rencontre, nous avons procédé à la collecte de données des pré-tests pour les tests physiques sur glace et hors-glace. Par la suite, les joueurs avaient 10 jours de repos avant de revenir pour la deuxième séance, ce qui nous assurait une récupération complète et qu'aucun apprentissage et amélioration ne pouvait être apporté par les pré-tests. Par ailleurs, la deuxième séance était attribuée à la collecte de données post intervention et à la compilation des résultats suite à l'entraînement CT huit heures ou quatre heures avant ceux-ci.

### 3.6.2 Déroulements des tests

Les pré-tests étaient administrés à la première rencontre du projet de recherche le lundi matin. 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 (kg). Pour terminer, il y a eu la prise des 10 plis cutanés selon la méthode Allen & Zwiren, avec la pince d'Harpenden. Les sites sélectionnés étaient les suivants : (1) menton, (2) joue, (3) triceps, (4) pectoral, 5) sous-scapulaire, (6) axillaire, (7) supra-iliaque, (8) abdomen, (9) genou et (10) mollet. Chaque résultat était compilé dans notre feuille Excel avec la formule Allen & Zwiren qui nous permettait d'obtenir le pourcentage de gras et la masse maigre de chaque sujet.

Avant chaque début des tests physiques sur glace ou hors-glace, les joueurs effectuaient un réchauffement dynamique décrit à l'Appendice D. Par la suite, nous avons effectué le saut en longueur avec l'aide d'un ruban à mesurer au sol et les deux sauts en hauteur (CMJ et SJ) avec l'aide du tapis de Bosco. De plus, nous avons attaché le GymAware à chaque athlète via une ceinture à la taille et l'avons stabilisé à l'aide d'une plaque métallique de 10lbs pour chaque participant avant d'effectuer les sauts (CMJ et SJ). Pour ces tests, les participants ont obtenu deux essais et le meilleur résultat a été retenu. Ensuite, les participants étaient invités à prendre part au test du drop jump. Pour le test du drop jump, nous avons installé à une distance de 45 cm le capteur G-Flight. Le test commençait à partir d'une boîte d'une hauteur de 30 cm et progressait de 15 cm jusqu'à 75 cm. Le test se terminait lorsque le temps de contact au sol de l'athlète augmentait au-delà de 0,25 ms puisque la performance de l'athlète commençait à décliner. De plus, le RSI était calculé en même temps en divisant la hauteur du saut vertical par le temps de contact au sol pendant la phase de rebond lors d'un drop jump. Finalement, un test pour mesurer la force de préhension était pris à l'aide d'un dynamomètre *Baseline 200 lbs standard Head Hydraulic* à main et était noté au kilogramme (kg) près deux fois dans chaque main. À la fin des tests physiques, les joueurs avaient 75 minutes pour revêtir leurs équipements et se rendre sur la glace pour effectuer le test de sprints répétés.

Pour ce test d'habileté de sprint répété, il consistait à faire répéter aux joueurs huit sprints consécutifs d'environ 23 secondes avec 90 secondes de récupération qui permettait aux joueurs de revenir à la ligne de départ. Après chaque sprint du test anaérobie, nous prenions la fréquence cardiaque dès que le sujet avait terminé à l'aide d'un oxymètre sur l'index de l'athlète. De plus, lorsque le joueur terminait le test, il nous indiquait à l'aide de l'échelle de Borg (note de 1 à 10) sa perception de l'effort et pouvait quitter les lieux par la suite.

Lors de la deuxième séance, soit dix jours plus tard, les participants ont été divisés en deux groupes. Le groupe du protocole #1 s'est présenté huit heures avant (8HPT) les tests physiques sur glace et le groupe du protocole #2 s'est présenté quatre heures avant (4HPT) les tests sur glace pour réaliser l'entraînement complexe. L'entraînement est décrit dans la section 3.5 et le programme se retrouve dans la section annexe de la thèse (Appendice C).

En fin d'après-midi, les deux groupes se sont retrouvés pour refaire les tests du saut en longueur, du saut en hauteur (CMJ et SJ), des drops jumps (RSI), du test de préhension et le test de sprints répétés sur glace. Seules les mesures anthropométriques n'ont pas été reprises puisqu'il serait surprenant que la taille, le poids et leur composition corporelle aient changé radicalement en moins de 72 heures. De plus, ces données prises à la première séance ont été principalement utilisées pour effectuer des corrélations et des ratios 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 au joueur ayant participé au projet.

### 3.7 Devis statistiques

Dans la section analyse des résultats, les données seront présentées sous la forme de moyenne (Moy) et écart-type (É.T.). La distribution normale des données a été vérifiée à l'aide du test de normalité de Shapiro-Wilk indiquant une distribution normale des données des deux groupes ( $p > 0,05$ ). Le plan expérimental était formé de deux groupes (8HPT et 4HPT), avec des mesures pré et post intervention. L'analyse statistique des mesures anthropométriques était comparée par le test t pour échantillons indépendants en respectant les prémisses des deux groupes. Aussi, le test-t appariée a été utilisé où approprié avec une correction Bonferroni. La différence entre les groupes (8HPT et 4HPT) par rapport au temps (nombre de sprints) a été effectuée à l'aide d'une ANOVA à mesure répétée à deux facteurs (groupe X temps) pour observer la différence entre les sprints. Si une différence significative était détectée, alors une analyse Post Hoc à l'aide d'un test de comparaison appariée était utilisée (LSD). Le coefficient de corrélation de Pearson fut aussi calculé pour mesurer la puissance d'association entre diverses variables. Aussi, l'effet de taille (ET) de Cohen ( $d$ ) a été calculé où  $d \geq 0.20$  est un ET petit;  $d \geq 0.50$  est un ET moyen; et  $d \geq 0.80$  est un ET grand. En plus, une analyse ( $n=1$ ) a été effectuée permettant à chaque sujet d'être son propre contrôle. Une différence significative était retenue lorsque  $p < 0,05$ . Les données ont été analysées avec le logiciel SPSS, version 21.

### 3.8 Limites du projet

Dans un premier temps, malgré que les sujets eussent déjà exécuté dans le passé un entraînement CT et que nous avons essayé de diminuer l'effet d'apprentissage et d'amélioration avec l'appui des études de Faude et al. (2013 et 2014) et de Hecksteden et al. (2018) en espaçant la prise des données entre les mesures pré et post tests de plus d'une semaine, il reste que l'effet de séquence ne peut être

complètement contrôlé puisque les sujets étaient familiarisés avec le protocole lors de la première séance. En étant des athlètes professionnels, ils sont en quelque sorte conditionnés à faire mieux lors de la deuxième séquence. En second lieu, nous n'avions pas une séance à elle seule pour déterminer le 1 RM des athlètes sur la TBD lors de la séance d'entraînement. Nous avons plutôt fait des échauffements pour atteindre un poids que les participants ont pu exécuter pour cinq répétitions et que ce poids utilisé était d'environ 80-85 % de leur maximum qui est le pourcentage idéal pour développer la force et la force réactive (Hatfield, 1989). L'intensité (80 % RM) choisie était donc approximative, ce qui a maximisé notre temps dans l'exécution de la collecte de données. D'une autre part, lors du test sur glace anaérobie qui constitue une estimation d'une présence sur glace lors d'une partie de hockey, ceci ne nous permet pas de conclure que ce type d'entraînement pourrait augmenter les performances lors d'une partie complète puisque nous représentons seulement quelques présences réelles d'un joueur de hockey sur glace.

## CHAPITRE IV

### RÉSULTATS

#### 4.1 Résultats des réponses physiques et physiologiques avant et après l'entraînement complexe (PAP)

Les données sont présentées dans des tableaux de compilation. Dans chacun de ceux-ci, les données sont présentées en incluant les participants de chaque groupe, soit huit heures pré test (8HPT) et quatre heures pré test (4HPT). Au cours de la collecte de données (juin 2019), quatre participants n'ont pu participer à ce projet, trois d'entre eux pour des raisons de conflit d'horaire lors de la deuxième prise de collecte de données et l'autre pour avoir reçu son équipement de hockey en retard par avion par son équipe.

##### 4.1.1 Mesures anthropométriques

Les caractéristiques anthropométriques des participants sont présentées dans le tableau 4.1. On peut noter qu'il n'y avait aucune différence significative entre les mesures anthropométriques moyennes des deux groupes, soit 8HPT et 4HPT et du groupe total avant les tests physiques.

Tableau 4.1 Caractéristiques anthropométriques des participants

<b>Variabes</b>	<b>Total n=10</b>	<b>8 heures avant n=5</b>	<b>4 heures avant n=5</b>
<b>Âge (ans)</b>	19.8 (1.2)	19.8 (0.8)	19.8 (1.6)
<b>Poids (kg)</b>	83.4 (4.8)	85.0 (3.6)	81.7 (5.7)
<b>Grandeur (cm)</b>	180.3 (6.8)	182.1 (8.4)	178.4 (5.1)
<b>Gras (%)</b>	9.5 (1.2)	9.2 (0.6)	9.9 (1.6)
<b>Masse maigre (kg)</b>	75.4 (4.6)	77.2 (3.6)	73.6 (5.2)
<i>Moyenne ± (É.T.)</i>			

#### 4.1.2 Caractéristiques des participants pendant l'entraînement CT avant les tests physiques

Les données recueillies pendant l'entraînement CT des deux groupes 8HPT et 4HPT sont présentées dans le tableau 4.2. L'estimation du 1RM des participants a été faite avec la formule de Wathen à partir de leurs meilleures séries de 5RM. Cette formule a été démontrée comme la plus exacte comparativement à 7 autres formules existantes pouvant estimer le 1RM (LeSuer *et al.*, 1997). On peut noter qu'il n'y avait aucune différence significative entre les deux groupes pour les données recueillies qui ont été mesurées pendant l'entraînement CT huit et quatre heures avant les tests physiques. Par contre, une différence a pu être observée entre les groupes pour la variable de la puissance déployée (W) sur l'exercice du trap bar deadlift (TBD), soit une puissance totale déployée plus élevée de  $235.4 \pm 82$  dans le groupe 8HPT comparativement à celle déployée dans le groupe 4HPT ( $1628.0 \pm 282.4$  vs  $1392.6 \pm 200.2$  W, respectivement,  $d=0.83$ ,  $p=0.22$ ).

Tableau 4.2 Données recueillies durant l'entraînement complexe chez les participants des deux groupes

<b>Variables</b>	<b>8 heures avant <i>n=5</i></b>	<b>4 heures avant <i>n=5</i></b>
<b>Set 1 (kg)</b>	172.72 (0.1)	172.5 (0.5)
<b>Peak Power (W)</b>	509.6 (108.8)	472.2 (73.1)
<b>RPE</b>	7.0 (1.2)	7.4 (1.9)
<b>Set 2 (kg)</b>	180 (4.1)	178.5(4.9)
<b>Peak Power (W)</b>	574.8 (102.9)	457 (73.6)
<b>RPE</b>	7.6 (1.5)	8.2 (1.1)
<b>Set 3 (kg)</b>	190.9 (11.1)	189.1 (13.1)
<b>Peak Power (W)</b>	528.6 (70.7)	463.4 (53.5)
<b>RPE</b>	8.2 (0.8)	8.4 (0.9)
<b>Tonnage Total (kg)</b>	543.6 (14.9)	540.1 (18.1)
<b>Peak Power Total (W)</b>	1 628.0 (282.4)	1392.6 (200.2)
<b>1RM (kg)</b>	223 (11.1)	221 (13.1)
<b>RS</b>	2.6 (0.2)	2.7 (0.1)

*Moyenne ± (É.T), RPE: Rate Perceived Effort, 1RM : estimate from 5RM on set*

*RS: Relative strength ratio*

#### 4.1.3 Caractéristiques des sauts LJ, CMJ et SJ des participants

Les résultats pour les différents types de sauts des participants sont présentés dans le tableau 4.3 et aux figures 4.1 et 4.2. Il est important de mentionner que les groupes ont été formés de façon aléatoire. En référence au tableau 4.3, on observe une différence significative des résultats du saut en longueur (LJ) post-intervention ( $t=3.2$ ,  $p=0.02$ ) pour le groupe 8HPT et ( $t=3.1$ ,  $p=0.03$ ) pour le groupe 4HPT. De plus, une différence significative a été obtenue ( $t=1.2$ ,  $p=0.04$ ) dans le groupe 4HPT pour le SJ. C'est pour cette raison qu'il y a une différence significative dans ce groupe pour le ratio EUR ( $t=1.5$ ,  $p=0.04$ ) puisque l'écart entre le saut balistique CMJ (dynamique) et le saut statique SJ (force) est moins grand. Le pourcentage de SSC obtenu était calculé avec

la formule suivante :  $(CMJ/SJ)/SJ$ . Le CMJ devrait être supérieur au SJ en raison de l'utilisation du cycle d'étirement raccourcissement (CER) et la valeur plus élevée obtenue par le groupe 4HPT (%SSC négative) pourrait indiquer l'incapacité d'utiliser efficacement le CER. 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 y a eu une amélioration significative des résultats du saut en longueur pour les deux groupes, soit une augmentation de  $13.4 \text{ cm} \pm 8.2 \text{ cm}$  ( $t=3.2$ ,  $p=0.02$ ,  $d=1.5$ ) pour le groupe ayant exécuté l'entraînement CT 8 heures avant et de  $10.6 \text{ cm} \pm 7 \text{ cm}$  ( $t=3.1$ ,  $p=0.03$ ,  $d=0.7$ ) pour le groupe ayant exécuté l'entraînement CT 4 heures avant les tests physiques.

Tableau 4.3 Résultats du LJ, SJ, CMJ et puissance déployée des participants combinés pré et post intervention

Variables	8 heures avant (n=5)				4 heures avant (n=5)			
	Pré-tests	Post-tests	$\Delta$	$d_{Cohen}$	Pré-tests	Post-tests	$\Delta$	$d_{Cohen}$
<b>LJ<sub>(cm)</sub></b>	248.2 (6.5)	261.6* (10.6)	13.4 (8.2)	1.5	253.2 (15.4)	263.8* (15.3)	10.6 (7)	0.7
<b>SJ<sub>(cm)</sub></b>	55.5 (4.4)	61.0 (8.7)	5.5 (5.8)	0.8	58.3 (4.4)	65.9* (5.9)	7.6 (5.5)	1.5
<b>PP<sub>(w)</sub></b>	4789.1 (364.0)	4864.5 (352.0)	75.4 (401.8)	0.2	5214.5 (737.0)	4627.5 (1020.0)	-586.9 (630.7)	0.7
<b>CMJ<sub>(cm)</sub></b>	64.6 (3.4)	65.3 (3.3)	0.7 (3.8)	0.2	68.6 (7)	63.0 (9.6)	-5.5 (5.9)	0.7
<b>PP<sub>(w)</sub></b>	5261.2 (919.0)	5424.4 (672.0)	163.2 (855.0)	0.2	5518 (1028.0)	5684 (1426.0)	166 (687.0)	0.1
<b>EUR</b>	1.2 (0.0)	1.1 (0.2)	0.1 (0.2)	0.7	1.2 (0.0)	1.0* (0.2)	0.2 (0.2)	1.4
<b>SSC%</b>	14	7	7		18	-4	22	

Moyenne  $\pm$  (É.T.); \*  $p \leq 0.05$  intra groupe, LJ: Long Jump, SJ: Squat jump, PP: Peak Power, CMJ:

Countermovement Jump, EUR: Eccentric utilization ratio, SSC: Stretch-shortening Cycle %

La figure 4.2 présente les résultats pré et post intervention des sauts SJ et CMJ des deux groupes. On obtient une différence significative au niveau des résultats du SJ dans le groupe 4HPT, soit une augmentation de  $7.6 \text{ cm} \pm 5.5 \text{ cm}$  ( $t=3.2$ ,  $p=0.04$ ,  $d=1.5$ ), ce qui n'est pas le cas chez les participants du groupe 8HPT malgré une augmentation du SJ  $5.5 \text{ cm} \pm 5.8 \text{ cm}$  ( $t=1.1$ ,  $p=0.1$ ,  $d=0.8$ ). De plus, il n'y a eu aucune amélioration significative du CMJ dans les groupes expérimentaux ayant exécuté un entraînement huit et quatre heures avant les tests. Le groupe 4HPT a obtenu une diminution de  $-5.5 \text{ cm} \pm 5.9 \text{ cm}$  ( $t=0.5$ ,  $p=0.11$ ,  $d=0.7$ ) au CMJ, tandis que le groupe 8HPT a obtenu une légère augmentation  $0.7 \text{ cm} \pm 3.8 \text{ cm}$  ( $t=1.2$ ,  $p=0.7$ ,  $d=0.2$ ) au CMJ.

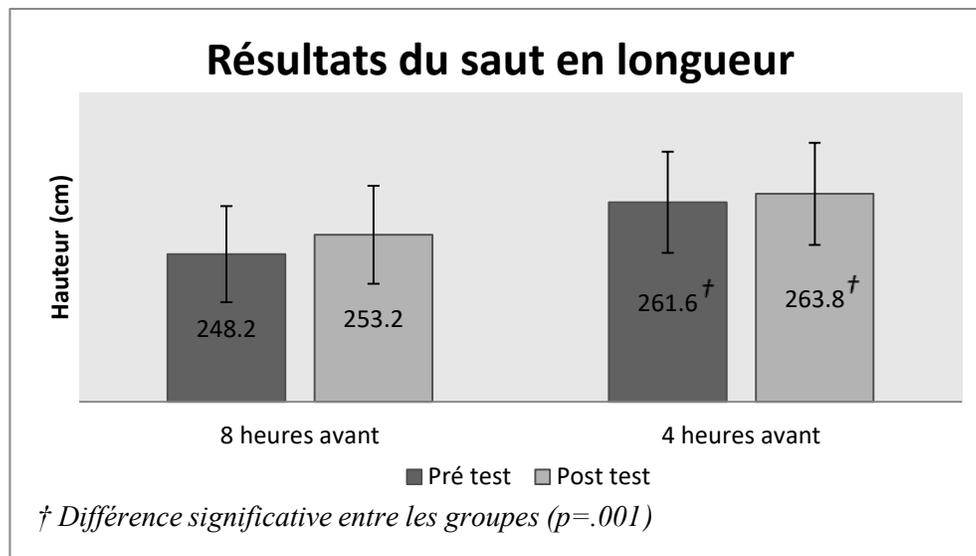


Figure 4.1 Résultats du saut en longueur des participants pré et post intervention

Malgré que l'augmentation de la puissance musculaire totale (W) ne fût pas significative post-intervention pour les deux groupes, le groupe 8HPT a obtenu une amélioration de la puissance musculaire (W)  $75.4 \pm 401.8$  ce qui pourrait expliquer la légère hausse de performance du CMJ, alors que le groupe 4HPT a obtenu une

diminution de la puissance musculaire totale (W)  $-586.9 \pm 630.7$ , qui pourrait expliquer la diminution de la performance du CMJ.

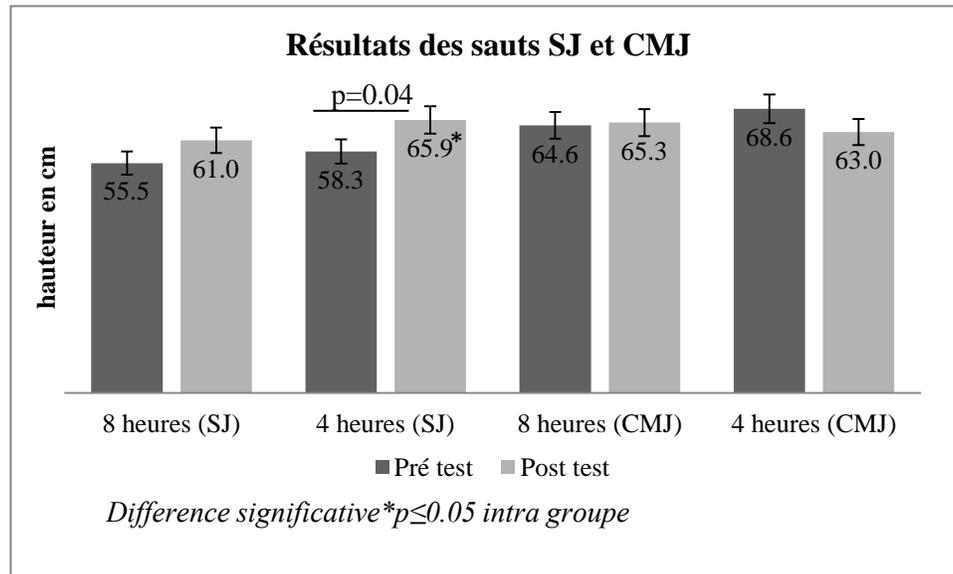


Figure 4.2 Résultats du saut SJ et CMJ des participants pré et post intervention

De plus, lors de notre analyse, des corrélations (figure 4.3) ont été décelées, soit une relation positive très forte entre le CMJ et la puissance déployée (Peak Power (W) ( $r = 1.00$ ;  $p < 0.05$ )), entre le saut en longueur et la puissance déployée (Peak Power (W) ( $r = 0.66$ ;  $p < 0.05$ )), entre le CMJ et le saut en longueur ( $r = 0.66$ ;  $p < 0.05$ ). Bref, les résultats des tests dynamiques (CMJ et LJ) sont corrélés avec l'augmentation de la puissance déployée (W) alors que le test de force (SJ) est corrélé avec une diminution de la puissance (W). Ceux-ci seraient des indicateurs du potentiel du taux de développement de la force (RFD). Cette section sera plus détaillée dans la section discussion de la thèse.

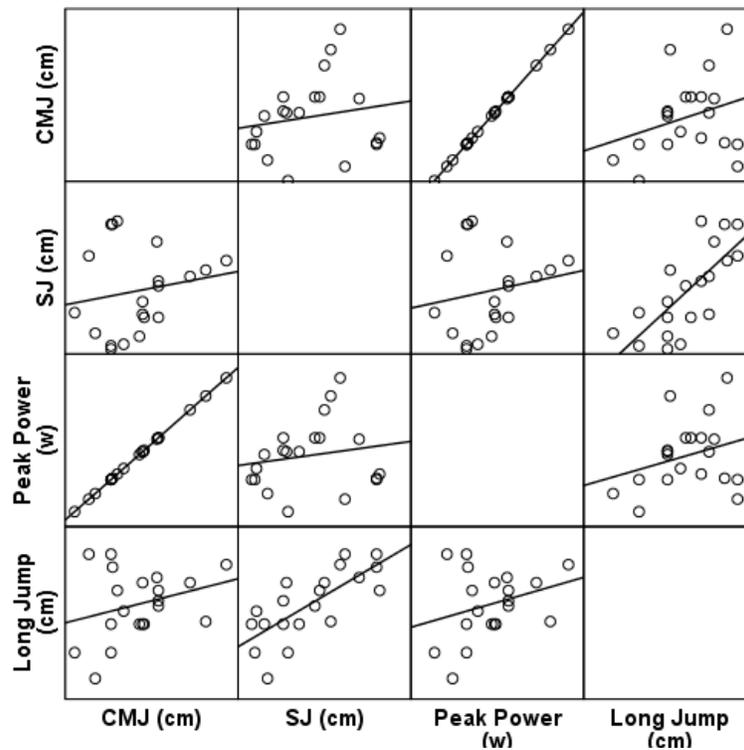


Figure 4.3 Graphique des corrélations obtenues pour la section des sauts LJ, SJ et CMJ

#### 4.1.4 Caractéristiques du drop jump des participants

Les résultats pour les différentes hauteurs du test drop jump et le temps de contact au sol (GCT) en ms sont présentés dans le tableau 4.4. Pour l'ensemble de ces données, il n'y a eu aucune amélioration significative. Par contre, pour l'ensemble des 4 sauts (30cm, 45 cm, 60 cm et 75cm), la somme totale des *drops jumps* a diminué de  $\pm 7.3$  cm et le GCT a augmenté de  $0.1$  ms pour le groupe 4HPT, alors que pour le groupe 8HPT la somme totale des *drops jumps* a augmenté  $\pm 3.2$  cm et le GCT est resté le même. Pour l'indice de force réactive (RSI), nous avons converti les résultats obtenus en (cm) en (m) pour nous permettre de comparer nos résultats selon les recherches de (Beattie *et al.*, 2015) à la figure 3.8. La collecte de données étant en début de saison estivale chez nos athlètes de haut niveau (n=10), pourrait expliquer

leur ratio RSI plus faible. Il reste que le groupe 8HPT a augmenté leur ratio RSI en moyenne de  $0.07 \pm 0.02$  (+2.3 %;  $p=0.21$   $d= 0.6$ ) et le groupe 4HPT de  $0.95 \pm 0.11$  (+31.6 %;  $p=0.13$ ,  $d= 0.6$ ). De plus, le groupe 4HPT se démarque dans le drop jump de la hauteur de 60 cm et 75 cm avec une amélioration à eux seul de 0.3 (+10 %), ce qui leur permet de passer, selon le tableau 4.4, d'un RSI modéré à bien établi.

Tableau 4.4 Résultats du test drop jump (cm), du temps de contact-CGT (millième seconde) et du RSI des participants combinés pré et post intervention

Variables	8 heures avant (n=5)				4 heures avant (n=5)			
	Pré-tests	Post-tests	$\Delta$	$d_{Cohen}$	Pré-tests	Post-tests	$\Delta$	$d_{Cohen}$
<b>DJ-30(cm)</b>	35.7 (4.4)	34.0 (5.3)	-0.8 (6.8)	0.2	38.7 (7.2)	34.8 (9.8)	-3.9 (9.5)	0.5
<b>GCT(ms)</b>	0.2 (0.0)	0.2 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0	0.2 (0.0)	0.2 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0
<b>RSI</b>	1.5 (0.2)	1.6 (0.4)	0.1 (2.0)	0.3	1.7 (0.4)	1.6 (0.5)	-0.1 (0.1)	0.2
<b>DJ-45(cm)</b>	37.0 (4.8)	36.9 (4.9)	-0.2 (4.9)	0.1	37.6 (3.2)	38.0 (7.4)	0.3 (7.7)	0.1
<b>GCT (ms)</b>	0.2 (0.0)	0.2 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0	0.2 (0.0)	0.2 (0.0)	0.0 (0.1)	0.0
<b>RSI</b>	1.7 (0.2)	1.7 (0.3)	0.0 (0.1)	0.0	1.8 (0.4)	1.9 (0.8)	0.1 (0.4)	0.2
<b>DJ-60(cm)</b>	35.4 (2.9)	36.9 (3.7)	1.5 (4.2)	0.5	38.7 (5.4)	36.6 (6.9)	-2.1 (3.5)	0.3
<b>GCT(ms)</b>	0.2 (0.0)	0.2 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0	0.2 (0.0)	0.2 (0.1)	0.0 (0.1)	0.0
<b>RSI</b>	1.7 (0.2)	1.8 (0.4)	0.1 (0.2)	0.3	1.7 (0.3)	2.0 (0.8)	0.3 (0.5)	0.7
<b>DJ-75(cm)</b>	36.9 (6.6)	39.7 (2.4)	2.7 (5.9)	0.6	40.4 (2.1)	38.8 (8.9)	-1.6 (9.1)	0.3
<b>GCT (ms)</b>	0.2 (0.0)	0.2 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0	0.2 (0.0)	0.2 (0.1)	0.0 (0.1)	0.0
<b>RSI</b>	1.8 (0.5)	1.9 (0.5)	0.1 (0)	0.2	1.9 (0.5)	2.2 (0.9)	0.3 (0.4)	0.4
<i>Moyenne <math>\pm</math> (É.T.) DJ: Drop jump, GCT: Ground contact time, RSI: Reative strength index.</i>								

#### 4.1.5 Caractéristiques du test de la force de préhension (grip test) chez les participants

Les résultats pour la force de préhension des participants sont présentés dans le tableau 4.5. On note une différence significative au niveau des résultats du test de préhension de la main gauche pré et post tests dans le groupe 8HPT ( $p=0.03$ ). De plus, une amélioration de  $\pm 10$  kg ( $p=0.06$ ,  $d=1.1$ ) chez le groupe 8HPT et chez le groupe 4HPT ( $p=0.05$ ,  $d=0.6$ ) post intervention a pu être constaté. D'autre part, le ratio grip test/RSI a été calculé pour nous fournir une rétroaction immédiate pour déterminer si l'athlète subit une fatigue périphérique ou centrale en se basant sur l'idée que si les deux mesures diminuent, la fatigue sera plus susceptible de diminuer la performance des tests (Gathercole *et al.*, 2015). Il est possible de remarquer avec le tableau 4.4 et 4.5 que ni le RSI et le grip test n'a diminué entre les interventions, et pour cette raison le ratio est resté quasi identique.

Tableau 4.5 Test de la force de préhension de la main gauche et main droite des participants

Variables	8 heures avant (n=5)				4 heures avant (n=5)			
	Pré	Post	$\Delta$	$d_{Cohen}$	Pré	Post	$\Delta$	$d_{Cohen}$
<b>GT-Left</b> (kg)	49.4 (6.3)	60* (5.0)	10.6 (7.4)	1.9	57.6 (10.5)	62 (6.7)	4.4 (5.1)	0.5
<b>GT-Right</b> (kg)	56.6 (5.6)	56.8 (4.7)	0.2 (2.8)	0.1	55.6 (8.7)	61.2 (6.6)	5.6 (6.2)	0.7
<b>GT-Total</b> (kg)	106 (10.6)	116.8 (9.6)	10.8 (9)	1.1	113.2 (18.9)	123.2 (11.9)	10 (8.1)	0.6
<b>Ratio GT/ RSI</b>	1.7 (0.6)	1.7 (0.6)	0.0 (0.2)	0.0	1.7 (0.6)	1.7 (0.7)	0.0 (1.2)	0.0

*Moyenne  $\pm$  (É.T.); \*  $p \leq 0.05$  intra groupe. GT: Grip test, RSI: Reactive strength index.*

#### 4.1.6 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 4.6. On note une différence significative des résultats au niveau de l'amélioration de la vitesse de patinage des joueurs de hockey du groupe 8HPT au sprint 4 ( $p=0.01$ ), sprint 5 ( $p=0.01$ ), sprint 6 ( $p=0.01$ ), sprint 8 ( $p=0.01$ ) pour le groupe 4HPT au sprint 2 ( $p=0.01$ ) et sprint 3 ( $p=0.04$ ). Il reste que la taille d'effet de Cohen pour les sprints des deux groupes ayant obtenu des résultats non significatifs est caractérisés comme une taille d'effet "fort". De plus, on observe une différence significative inter-groupe au niveau des résultats du temps total des 8 sprints ( $F_{1,8}=16.76$ ,  $p=0.01$ ) pour le groupe 8HPT et pour la moyenne de la fréquence cardiaque pour le groupe 4HPT ( $F_{1,4}=12.16$ ,  $p=0.02$ ).

Tableau 4.6 Sprints répétés avec le test *Peterson on-ice*

Variables	8 heures avant (n=5)			4 heures avant (n=5)			Δ Temps (s)	
	<i>Pré-tests</i>	<i>Post-tests</i>	<i>d</i> <sub>Cohen</sub>	<i>Pré-tests</i>	<i>Post-tests</i>	<i>d</i> <sub>Cohen</sub>	8HPT	4HPT
<b>Sprint 1</b> <sub>(s)</sub>	22.3 (0.6)	21.5 (0.4)	1.6	21.8 (1.0)	21.1 (0.4)	0.9	0.8 (0.7)	0.7 (0.8)
<b>Sprint 2</b> <sub>(s)</sub>	22.4 (0.7)	21.5 (0.7)	1.3	21.6 (0.6)	21.1* (0.4)	1.0	0.8 (0.8)	0.5 (0.2)
<b>Sprint 3</b> <sub>(s)</sub>	20.5 (5)	21.3 (0.5)	0.2	21.6 (0.8)	20.8* (0.5)	1.2	+0.8 (4.8)	0.9 (0.7)
<b>Sprint 4</b> <sub>(s)</sub>	22.9 (1.1)	21.3* (0.8)	1.7	21.7 (0.7)	21.4 (0.5)	0.5	1.6 (0.4)	0.3 (0.7)
<b>Sprint 5</b> <sub>(s)</sub>	23.4 (0.9)	21.7* (1.0)	1.8	22.1 (1.0)	21.1 (1.0)	1.0	1.7 (0.8)	1.0 (1.4)
<b>Sprint 6</b> <sub>(s)</sub>	23.4 (1.2)	21.9* (0.9)	1.4	22.0 (0.8)	21.4 (1.0)	0.7	1.4 (0.8)	0.7 (1.2)
<b>Sprint 7</b> <sub>(s)</sub>	23.2 (0.9)	22.5 (0.8)	0.9	22.2 (0.9)	21.6 (0.9)	0.7	0.7 (0.7)	0.6 (1.0)
<b>Sprint 8</b> <sub>(s)</sub>	23.5 (0.7)	22.3* (0.5)	1.9	21.8 (0.9)	21.7 (1.0)	0.1	1.2 (0.6)	0.1 (1.1)
<b>Total 8 sprints</b> <sub>(s)</sub>	181.4† (8.6)	174.0† (5.4)	1.3	175.0 (5.6)	170.2 (4.0)	1.0	7.4 (6.0)	4.8 (4.1)
<b>HR</b> Avg.	164.0 (2.4)	169.4 (3.5)	1.8	165.7 (3.0)	163.6† (2.6)	0.8	+5.4 (4.8)	2.1 (3.3)
<b>RPE</b> Avg.	6.2 (0.5)	6.6 (0.9)	0.6	6.6 (0.5)	6.9 (0.7)	0.5	+0.3 (1.1)	+0.3 (0.9)
<b>Sprint idéal</b> (s)	178.4 (4.9)	172.2 (3.2)	1.5	174.6 (8)	168.6 (3.2)	1.0	6.1 (5.3)	6.0 (4.9)
<b>FI</b> (%)	5.4 (2.6)	2.3 (1.4)	1.5	0.1 (5.9)	3.4 (0.1)	0.8	3.1 (1.2)	+3.3 (5.8)
<b>DF</b> (%)	1.7 (3.8)	1.0 (1.4)	0.2	0.3 (3.9)	0.9 (2.1)	0.2	0.7 (3.2)	0.6 (4.9)

*Moyenne ± (É.T.); \* p≤0.05 intra groupe; † p≤0.05 inter groupe. HR avg: Heart rate average ,RPE avg: Rate perceived effort average, FI: Fatigue index, DF: Decrement fatigue*

La figure 4.4 présente les résultats pré et post intervention des huit sprints répétés sur glace des deux groupes. De plus, la figure 4.5 présente le résultat du temps total des huit sprints répétés sur glace des groupes 8HPT et 4HPT. Lors de l'entraînement CT (tableau 4.2), la perception de l'effort des participants en moyenne pour le groupe 8HPT et 4HPT à la dernière série a atteint  $8,3 \pm 0,9$  sur 10 sur l'échelle de Zourdos et al (2016). Ce qui signifie que les résultats observés sur les tests neuromusculaires seraient reliés à l'approche PAP et non à des différences de motivation ou d'intensité d'exécution des prés et post tests. Ces résultats permettent de diminuer les doutes face à l'effet de séquence et d'adaptation lors de la deuxième séance des tests-physiques.

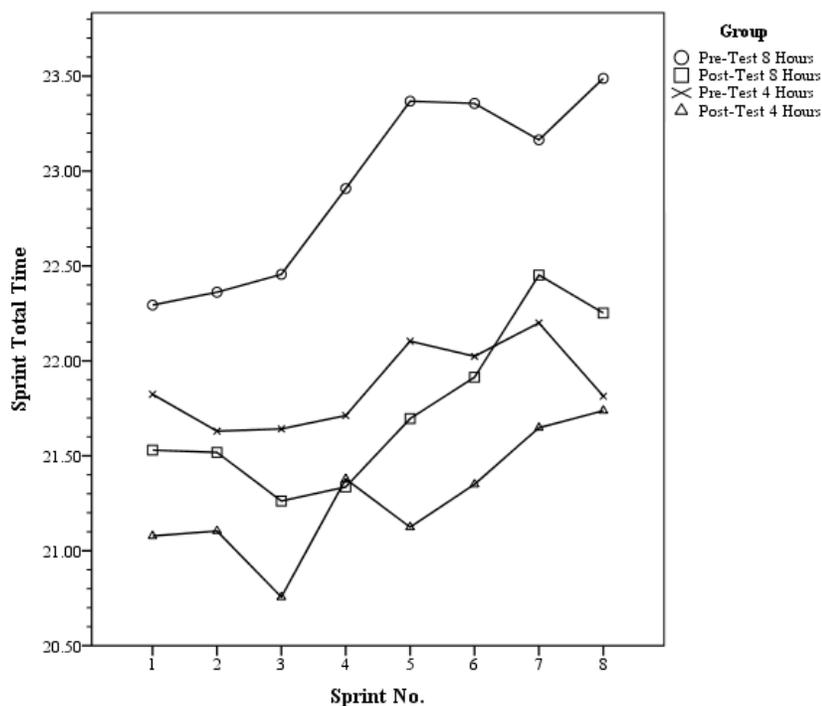


Figure 4.4 Résultats pré et post intervention des huit sprints répétés sur glace des deux groupes

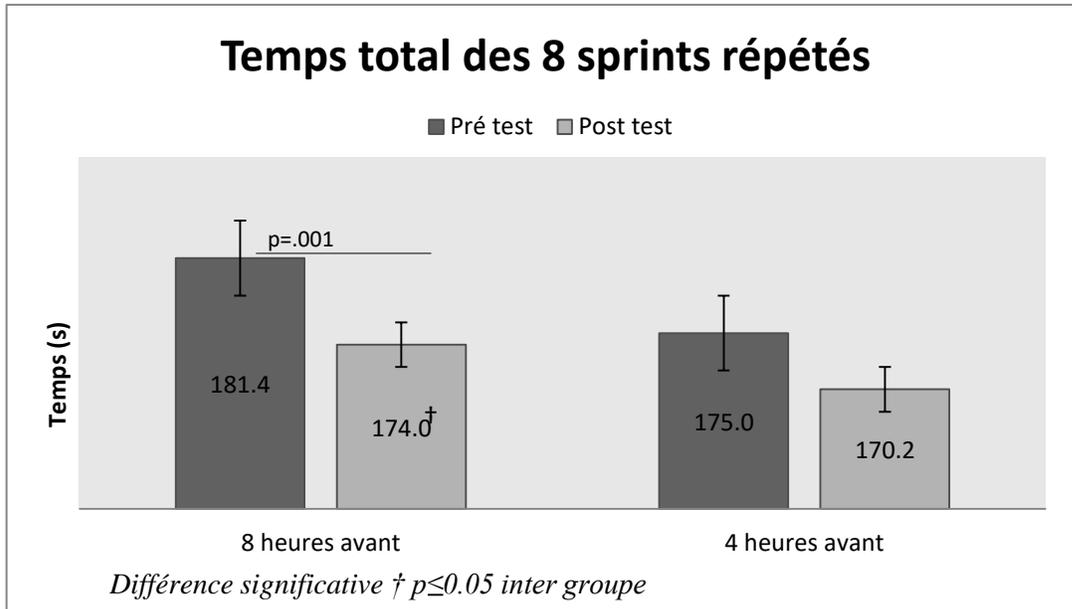


Figure 4.5 Temps total des 8 sprints répétés entre les groupes 8HPT et 4HPT

Les résultats pour le test de sprint linéaires répétés de 40 m sur glace et la vitesse moyenne (m/s) sont présentés dans le tableau 4.7. On note une différence significative pour le groupe 8HPT sur l'augmentation de la vitesse moyenne (m/s) pré- et -post test total ( $F_{1,8}=19.47, p=0.002$ ) ainsi que pour les 8 sprints à l'exception du sprint no.7, sprint 1 ( $p=0.02$ ), sprint 2 ( $p=0.01$ ), sprint 3 ( $p=0.01$ ), sprint 4 ( $p=0.01$ ), sprint 5 ( $p=0.01$ ), sprint 6 ( $p=0.04$ ) et sprint 8 ( $p=0.03$ ). De même que pour le groupe 4HPT la vitesse moyenne (m/s) des sprints total pré- et -post test total ( $F_{1,8}=9.5, p=0.015$ ) ainsi que pour le sprint 2 ( $p=0.01$ ), sprint 3 ( $p=0.02$ ), sprint 4 ( $p=0.01$ ), sprint 5 ( $p=0.01$ ), sprint 6 ( $p=0.02$ ) et sprint 7 ( $p=0.01$ ). De plus, on observe une différence significative inter-groupe pour le groupe 8HPT et 4HPT dans la vitesse moyenne (m/s) et au sprint 2 ( $p=0.03$ ). Il reste que la taille d'effet de Cohen pour les deux groupes est caractérisée comme une taille d'effet "fort" pour toutes les données. La figure 4.6 présente les résultats pré et post intervention de la moyenne en (m/s) des huit sprints répétés sur glace des deux groupes.

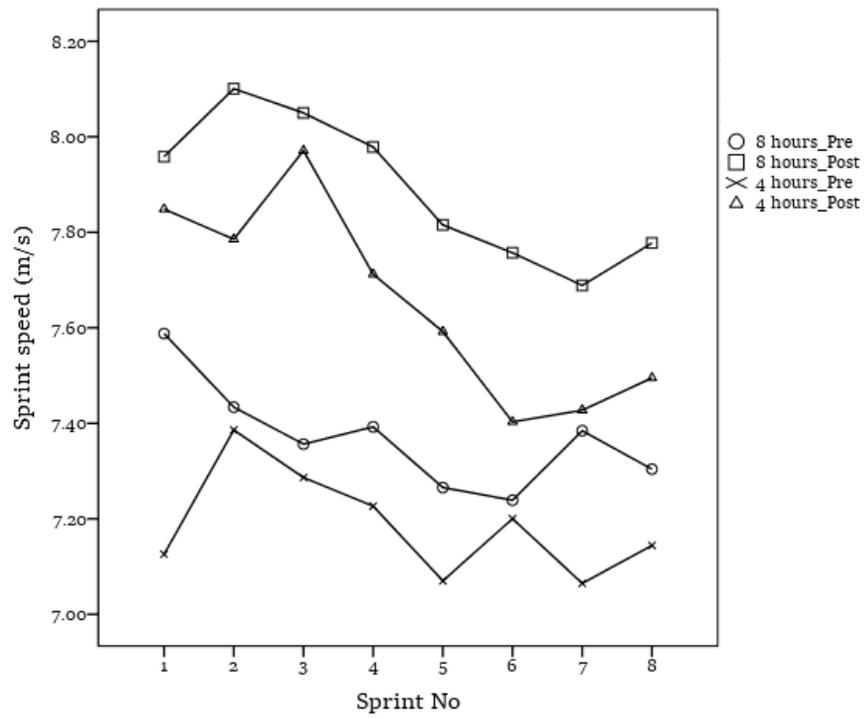


Figure 4.6 La vitesse moyenne (m/s) des 8 sprints linéaires de 40 mètres entre les groupes 8HPT et 4HPT

Tableau 4.7 Résultats pour le test de sprints répétés linéaires de 40 m sur glace et la vitesse moyenne (m/s)

Variables	8 heures avant (n=5)			4 heures avant (n=5)			$\Delta$ Temps (s)	
	<i>Pré-tests</i>	<i>Post-tests</i>	<i>d<sub>Cohen</sub></i>	<i>Pré-tests</i>	<i>Post-tests</i>	<i>d<sub>Cohen</sub></i>	<i>8HPT</i>	<i>4HPT</i>
<b>Sprint 1-40m<sub>(s)</sub></b>	5.3 (0.1)	5.0 * (0.1)	3.0	5.7 (0.7)	5.1 (0.2)	1.2	0.3 (0.1)	0.6 (0.5)
<b>Sprint 1<sub>(m/s)</sub></b>	7.6 (0.1)	8.0 (0.2)	2.5	7.1 (0.8)	7.8 (0.3)	1.2	+0.4 (0.1)	+0.7 (0.5)
<b>Sprint 2-40m<sub>(s)</sub></b>	5.4 (0.1)	4.9*† (0.1)	5.0	5.4 (0.2)	5.1*† (0.1)	1.9	0.5 (0.1)	0.3 (0.1)
<b>Sprint 2<sub>(m/s)</sub></b>	7.4 (0.1)	8.1*† (0.2)	4.4	7.4 (0.2)	7.8*† (0.2)	2.0	+0.7 (0.1)	+0.4 (0.1)
<b>Sprint 3-40m<sub>(s)</sub></b>	5.4 (0.1)	5.0* (0.2)	2.5	5.5 (0.2)	5.0* (0.2)	2.5	0.4 (0.1)	0.5 (0.1)
<b>Sprint 3<sub>(m/s)</sub></b>	7.4 (0.2)	8.1 (0.3)	2.7	7.3 (0.3)	8 (0.4)	2.0	+0.7 (0.1)	+0.7 (0.1)
<b>Sprint 4-40m<sub>(s)</sub></b>	5.4 (0.2)	5.0* (0.2)	2.0	5.5 (0.2)	5.2* (0.1)	1.9	0.4 (0.1)	0.3 (0.1)
<b>Sprint 4<sub>(m/s)</sub></b>	7.4 (0.3)	8.0 (0.4)	1.7	7.2 (0.3)	7.7 (0.2)	2.0	+0.6 (0.1)	+0.5 (0.1)
<b>Sprint 5-40m<sub>(s)</sub></b>	5.5 (0.2)	5.1* (0.2)	2.0	5.7 (0.2)	5.3* (0.2)	2.0	0.4 (0.1)	0.4 (0.1)
<b>Sprint 5<sub>(m/s)</sub></b>	7.3 (0.3)	7.8 (0.3)	1.7	7.1 (0.3)	7.6 (0.3)	1.7	+0.5 (0.1)	+0.5 (0.1)
<b>Sprint 6-40m<sub>(s)</sub></b>	5.5 (0.3)	5.2* (0.1)	1.3	5.6 (0.2)	5.4* (0.2)	1.0	0.3 (1.1)	0.3 (0.9)
<b>Sprint 6<sub>(m/s)</sub></b>	7.2 (0.4)	7.8 (0.2)	1.9	7.2 (0.2)	7.4 (0.3)	0.8	+0.6 (0.2)	+0.2 (0.1)
<b>Sprint 7-40m<sub>(s)</sub></b>	5.4 (0.2)	5.2 (0.2)	1.0	5.7 (0.2)	5.4* (0.2)	1.5	0.2 (0.1)	0.3 (0.1)
<b>Sprint 7<sub>(m/s)</sub></b>	7.4 (0.3)	7.7 (0.2)	1.2	7.1 (0.3)	7.4 (0.2)	1.2	+0.3 (0.1)	+0.3 (0.1)
<b>Sprint 8-40m<sub>(s)</sub></b>	5.5 (0.2)	5.1* (0.1)	2.5	5.6 (0.2)	5.3 (0.2)	1.5	0.4 (0.1)	0.3 (0.1)
<b>Sprint 8<sub>(m/s)</sub></b>	7.3 (0.3)	7.8 (0.2)	1.9	7.1 (0.3)	7.5 (0.3)	1.3	+0.5 (0.1)	+0.4 (0.1)
<b>Total 8 sprint<sup>(s)</sup></b>	43.4 (0.3)	40.5 (0.1)	12.9	44.7 (0.1)	41.8 (0.1)	29.0	2.9 (0.2)	2.9 (0.1)

*Moyenne ± (É.T.); \* p≤0.05 intra groupe; † p≤0.05 inter groupe.*

#### 4.1.7 Caractéristique de l'entraînement d'avant match (N=1) entre chaque sujet étant son propre groupe contrôle

Le tableau 4.8 (n=8 ; représente le nombre de sprint) présente les résultats pré et post intervention entre les sujets, soit le temps total (sec) des 8 sprints, le temps du 1<sup>er</sup> Sprint linéaire de 40 mètres et de la vitesse (m/s). Nous pouvons constater que pour l'ensemble de ces données, les résultats obtenus sont significatifs ( $p < 0.05$ ). Le plus important étant le 1<sup>er</sup> sprint qui permet au joueur d'être le premier sur la rondelle. Les seuls résultats n'ayant pas été significatifs au niveau statistique étaient le sprint total chez les sujets 2, 3, 6, 9 et 10.

Tableau 4.8 Résultats entre les sujets (N=1) dans les groupes 8HPT et 4HPT

Sujets	Groupe	Sprint Totale (n=8)				1er Sprint 40m (n=8)				Vitesse 1er Sprint (m/s) (n=8)			
		Pré	Post	(%Δ)	Sig.	Pre	Post	(%Δ)	Sig.	Pre	Post	(%Δ)	Sig.
1	8HPT	23.8± 0.9	22.0± 0.4	1.8	.001 *	5.5± 0.2	5.0± 0.1	0.5	.001 *	7.2± 0.2	8.0±0.2	-0.8	.001 *
2	8HPT	23.4± 1.0	22.8± 0.7	0.6	.192	5.6± 0.2	5.2± 0.2	0.4	.006 *	7.1± 0.3	7.6±0.3	-0.5	.006 *
3	8HPT	21.1± 3.9	21.2± 0.4	0.1	.953	5.4± 0.1	5.0± 0.2	0.4	.001 *	7.4± 0.1	8.1±0.2	-0.6	.001 *
4	8HPT	23.0± 0.3	21.4± 0.5	1.5	.001 *	5.2± 0.1	5.0± 0.2	0.2	.005 *	7.6± 0.1	8.0±0.3	-0.4	.006 *
5	8HPT	22.1± 0.6	21.2± 0.4	0.8	.005 *	5.4± 0.1	5.2± 0.1	0.2	.001 *	7.4± 0.1	7.7±0.1	-0.3	.001 *
6	4HPT	21.2± 0.3	20.8± 0.5	0.4	.092	5.6± 0.1	5.3± 0.1	0.2	.001 *	7.2± 0.1	7.5±0.1	-0.3	.001 *
7	4HPT	21.8± 0.7	21.2± 0.5	0.6	.062	5.2± 0.1	5.0± 0.1	0.2	.003 *	7.6± 0.2	8.0±0.1	-0.4	.002 *
8	4HPT	22.8± 0.6	21.3± 0.6	1.5	.001 *	5.7± 0.2	5.3± 0.2	0.4	.002 *	7.1± 0.2	7.6±0.3	-0.5	.002 *
9	4HPT	21.2± 0.3	20.9± 0.3	0.3	.091	5.6± 0.1	5.3± 0.1	0.3	.001 *	7.2± 0.1	7.6±0.1	-0.4	.001 *
10	4HPT	22.3± 0.6	22.1± 1.0	0.2	.586	5.8± 0.4	5.3± 0.3	0.6	.012 *	6.9± 0.4	7.6±0.5	-0.7	.009 *
<i>Moyenne ± (É.T.); * <math>p \leq 0.05</math></i>													

#### 4.1.8 Caractéristique de l'entraînement d'avant match mixtes pour les deux groupes combinés ensemble

Le tableau 4.9 présente les résultats pré et post intervention de tous les tests physiques de la collecte de données en combinant les groupes 8HPT et 4HPT. Nous pouvons constater que pour l'ensemble de ces données, les résultats obtenus sont significatifs ( $p < 0.05$ ). Les seuls résultats n'ayant pas été significatifs au niveau statistique étaient le sprint 3 total, le sprint 8 total, la moyenne de la fréquence cardiaque, la perception à l'effort, la diminution du pourcentage de la fatigue (DF), le pourcentage de l'indice de fatigue (FI), le CMJ, la hauteur du saut du DJ-75cm, le temps de contact au sol (GCT).

Tableau 4.9 Résultats combinés pour les groupes 8HPT et 4HPT

Variables	Entraînement avant tests-physiques (n=10)			
	Pré-tests	Post-tests	Δ	p-value
<b>Sprint 1-Total</b>	22.1 (0.8)	21.3* (0.4)	0.8	0.01
<b>Sprint 1-40m</b> <sub>(s)</sub>	5.5 (0.5)	5.1* (0.2)	0.4	0.04
<b>Sprint 1 (m/s)</b>	7.4 (0.6)	7.9* (0.2)	0.5	0.02
<b>Sprint 2-Total</b>	22 (0.7)	21.3* (0.6)	0.7	0.01
<b>Sprint 2-40m</b> <sub>(s)</sub>	5.4 (0.1)	5.0* (0.2)	0.4	0.01
<b>Sprint 2 (m/s)</b>	7.4 (0.2)	7.9* (0.2)	0.5	0.01
<b>Sprint 3-Total</b>	21.0 (3.4)	21.0 (0.5)	0.0	0.97
<b>Sprint 3-40m</b> <sub>(s)</sub>	5.5 (0.2)	5.0* (0.2)	0.5	0.01
<b>Sprint 3 (m/s)</b>	7.3 (0.2)	8.0* (0.3)	0.7	0.01
<b>Sprint 4-Total</b>	22.3 (1.1)	21.4* (0.6)	0.9	0.01
<b>Sprint 4-40m</b> <sub>(s)</sub>	5.5 (0.2)	5.1* (0.2)	0.4	0.01
<b>Sprint 4 (m/s)</b>	7.3 (0.3)	7.8* (0.3)	0.5	0.01
<b>Sprint 5-Total</b>	22.7 (1.1)	21.4* (1)	1.3	0.01
<b>Sprint 5-40m</b> <sub>(s)</sub>	5.6 (0.2)	5.2* (0.2)	0.4	0.01
<b>Sprint 5 (m/s)</b>	7.2 (0.3)	7.7* (0.3)	0.5	0.01
<b>Sprint 6-Total</b>	22.7 (1.2)	21.6* (0.9)	1.1	0.01
<b>Sprint 6-40m</b> <sub>(s)</sub>	5.6 (0.2)	5.3* (0.2)	0.3	0.01
<b>Sprint 6 (m/s)</b>	7.2 (0.3)	7.6* (0.3)	0.4	0.01
<b>Sprint 7-Total</b>	22.7 (1)	22.1* (0.9)	0.6	0.03
<b>Sprint 7-40m</b> <sub>(s)</sub>	5.5 (0.2)	5.3* (0.2)	0.2	0.01
<b>Sprint 7 (m/s)</b>	7.2 (0.3)	7.6* (0.3)	0.4	0.01
<b>Sprint 8-Total</b>	22.7 (1.2)	22.0 (0.8)	0.7	0.08
<b>Sprint 8-40m</b> <sub>(s)</sub>	5.5 (0.2)	5.2* (0.2)	0.3	0.01
<b>Sprint 8 (m/s)</b>	7.2 (0.3)	7.6* (0.3)	0.4	0.01
<b>Total 8 sprints</b>	178.2 (7.7)	172.1* (4.9)	6.1	0.01
<b>HR</b> <sub>avg.</sub>	164.9 (2.7)	166.5 (4.2)	2.5	0.37
<b>RPE</b> <sub>avg.</sub>	6.4 (0.5)	6.7 (0.8)	0.3	0.30
<b>Ideal Sprint</b>	176.5 (6.6)	170.4* (3.6)	6.1	0.01
<b>DF%</b>	1.0 (3.7)	1.0 (1.7)	0.0	0.97
<b>FI %</b>	1.9 (8.1)	3.6 (3.8)	1.7	0.63
<b>CMJ</b> <sub>(cm)</sub>	66.5 (5.5)	64.3 (6.8)	2.2	0.22
<b>SJ</b> <sub>(cm)</sub>	56.8 (4.3)	63.5* (7.6)	6.7	0.01
<b>Long Jump</b> <sub>(cm)</sub>	250.7 (11.4)	262.7* (12.5)	12	0.01
<b>Drop jump-75</b> <sub>(cm)</sub>	38.7 (5)	39.2 (6.2)	0.5	0.81
<b>GCT</b> <sub>(ms)</sub>	0.2 (0)	0.2 (0)	0.0	0.51
<b>EUR ratio</b>	1.2 (0)	1.0* (0.2)	0.2	0.02
<b>GT-total</b> <sub>(kg)</sub>	109.6 (14.9)	120* (10.8)	10.4	0.01

Moyenne ± (E.T.); \*p<0.05 intra groupe. HR avg: Heart rate average, RPE avg: Rate perceived effort average, FI: Fatigue index, DF: Decrement fatigue, SJ: Squat jump, CMJ: Countermovement jump, GCT: Ground contact time, EUR: Eccentric utilization ratio, GT: Grip test

## CHAPITRE V

### DISCUSSION

Rappelons que la question de recherche et l'objectif qui a suscité la présente étude étaient d'évaluer la fenêtre temporelle optimale d'un entraînement complexe augmentant la performance post-activation (PAPE) et de déterminer la durée des effets neurologiques positifs si l'entraînement était exécuté quatre ou huit heures avant les tests physiques neuromusculaires et sous-maximaux que représente une présence sur glace. En fait, le résultat probant de la présente recherche indique que l'entraînement CT huit heures avant la compétition semble être la fenêtre temporelle optimale pour améliorer le profil force-vitesse chez les joueurs de hockey. Cette observation sera discutée relativement aux tests utilisés et sur des fondements physiologiques.

#### 5.1 Justification des tests retenus pour la mesure des variables dépendantes

L'utilisation de l'entraînement CT dans la périodisation doit être juste et bien ancrée dans le calendrier par les préparateurs physiques pour permettre aux joueurs d'optimiser leurs performances. Les tests physiques retenus dans ce projet sont l'une des manières qui nous permettront de nous assurer d'un suivi adéquat pour obtenir des améliorations avec nos athlètes avec un espoir que ceux-ci seront transférés aux performances sur la glace.

### 5.1.1 Les mesures anthropométriques

La composition corporelle, étant un prédicteur significatif de la performance de patinage chez les joueurs de hockey (Janot *et al.*, 2015) et sachant qu'aucune estimation du pourcentage de gras ne peut être aussi précise qu'un DXA (Walia *et al.*, 1992), il reste que l'utilisation des plis cutanés dans les recherches cliniques sont communément utilisés (Delisle-Houde *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2000). Il existe plusieurs équations pour mesurer le pourcentage de graisse corporelle avec l'aide des plis cutanés. La majorité des équations développée entre 1950 et 1980 utilisent de 3 à 10 sites différents et ont toutes une chose en commun, soit que la somme de l'épaisseur des plis cutanés a été corrélée au poids obtenu à la méthode hydrostatique (la méthode la plus précise à l'époque) (Talbert *et al.*, 2009). Dans la littérature, il existe des différences significatives ( $P < 0.01$ ) entre chacune des méthodes (Baranauskas *et al.*, 2017; Eston *et al.*, 1995) estimant le pourcentage de graisse ; (Jackson *et al.*, 1978) 3,4 et 7 plis, (Durnin *et al.*, 1974) 4 plis et (Carter *et al.*, 1984) 6 plis. De plus, quelques études ont démontré que l'équation de Jackson et de Pollock sous-estime le pourcentage (3.1-3.3%) de gras des individus alors que l'équation de Durnin et Womersley surestime celui-ci (Ball *et al.*, 2004; Eston *et al.*, 1995; Talbert *et al.*, 2009). Par contre, la formule Allen & Zwiren (figure 3.2) semble être la plus précise chez une population athlétique avec une marge d'erreur de  $\pm 2\%$  comparativement à la méthode de référence, soit la pesée hydrostatique basée sur les principes d'Archimède (Allen *et al.*, 1956; Zwiren *et al.*, 1973).

### 5.1.2 Le contre-mouvement jump (CMJ), squat jump (SJ)

Le saut en hauteur est un test utilisé par les préparateurs physiques lors du *NHL Combine* (Vescovi *et al.*, 2006). Depuis 1992, les sauts en hauteur et longueur ont été démontrés comme les meilleurs prédicteurs pour estimer la vitesse de patinage chez les joueurs de hockey (Mascaro *et al.*, 1992; Runner *et al.*, 2016). Il permet de déterminer la puissance des membres inférieurs qui est une composante importante de la performance chez les athlètes (Carlock *et al.*, 2004; Dobbs *et al.*, 2015). Bien que l'utilisation des bras contribue à une augmentation jusqu'à 28 % de la hauteur du saut, il reste que dans le hockey où la vitesse de mouvement et le temps de réaction sont des composantes importantes, nous n'avons pas besoin d'un CMJ de pleine amplitude, car l'athlète n'a pas nécessairement besoin d'atteindre la hauteur maximale, mais plutôt de réagir rapidement. (Harman *et al.*, 1990; Lees *et al.*, 2004). Sachant que peu importe l'équation utilisée, des mesures provenant de la cinématique ne permettent pas d'estimer la puissance musculaire déployée avec assez de précision (Hatze, 1998). La seule façon d'obtenir précisément la puissance musculaire est avec l'utilisation d'une plateforme de force (Linthorne, 2001). Nous savons que la capacité des individus à sauter vient en grande partie de leur coordination motrice et de leur capacité à recruter le plus d'unités motrices et que la puissance musculaire n'est pas le facteur principal expliquant la hauteur du saut (Tessier *et al.*, 2013). Bref, puisque le test du saut vertical ne permet pas de calculer la puissance d'un joueur de hockey et que les plateformes de force ne sont pas abordables au niveau financier pour les préparateurs physiques, nous avons donc décidé d'utiliser en plus du tapis de Bosco la formule de Sayers et le GymAware, Kinetic Performance Technology, Canberra, Australia pour comparer la fiabilité de ces mesures en sachant que les deux méthodes ont été validées par le passé (O'Donnell *et al.*, 2018; Sayers *et al.*, 1999).

### 5.1.3 Le saut en longueur

Le hockey est un sport qui demande moins de puissance verticale que d'autres sports tels que le basketball ou le volleyball. C'est la raison pour laquelle nous avons choisi d'évaluer le saut en longueur puisqu'il contribue à déterminer la puissance maximale des membres inférieurs. De plus, lors d'un saut en longueur, les angles des articulations sont plus représentatifs du hockey que le saut vertical. La validité et la 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).

### 5.1.4 Le ratio du taux d'utilisation excentrique (EUR) et efficacité du cycle-d'étirement raccourcissement (CER)

La différence entre les deux sauts (CMJ et SJ) est un indicateur qui peut révéler la capacité d'un athlète à utiliser efficacement le cycle d'étirement- raccourcissement (CER) qui est un facteur critique dans de nombreux sports d'explosion. La majorité des athlètes devrait avoir un ratio au-dessus de 1. Un athlète avec un ratio en dessous de 1 signifierait que la diminution de la puissance déployée serait limitée par l'inhabilité du muscle à stocker et utiliser l'énergie élastique. Si c'est le cas, cet indicateur pourrait être utilisé par un préparateur physique pour incorporer ou augmenter le volume de pliométrie dans son programme d'entraînement. À l'opposé, un ratio supérieur à 1 nous indiquerait que la limitation de cet athlète ne serait pas en lien avec la capacité à tirer profit des propriétés élastiques des muscles et des tendons, mais plutôt en lien avec un manque au niveau de la force produite par les membres inférieurs. Cet indicateur pourrait être utilisé par un préparateur physique pour incorporer des exercices ou pour augmenter le volume d'entraînement en résistance

dans son programme d'entraînement (McGuigan *et al.*, 2006). Dans ce même sens, le pourcentage du CER (SSC%) : le CMJ devrait être supérieur au SJ en raison de l'utilisation du cycle d'étirement raccourcissement (CER) et une valeur plus élevée du SJ pourrait indiquer l'incapacité d'utiliser efficacement le CER. La valeur optimale basée sur des recherches antérieures serait de 10 % (Schmarzo Max *et al.*, 2017). Si la valeur obtenue est plus basse de 10 %, les préparateurs physiques devraient incorporer plus d'entraînement de pliométrie et si elle est plus haute que 10 %, ils devraient intégrer plus d'entraînement en force.

#### 5.1.5 L'indice de force réactive (RSI)

Ces outils (G-flight et Gymaware) possèdent une bonne fiabilité et peuvent être facilement incorporés pour mesurer l'indice de force réactive (RSI) (Patterson *et al.*, 2010). Ce test pourrait détecter des changements au niveau de la fatigue neuromusculaire, de la fonction du cycle d'étirement-raccourcissement (CER) et de la capacité à générer de la force (Coutts *et al.*, 2007; Newton *et al.*, 2002). Bref, le taux de développement de force (RFD) au niveau des membres inférieurs, tant horizontalement que verticalement, semble être le facteur qui contribue le plus à la performance et à la vitesse sur glace.

#### 5.1.6 Le test de la force de préhension

Lors de la récupération entre la fatigue et la performance, il était important d'évaluer la fonction neuromusculaire du haut du corps (Johnston *et al.*, 2013). Cette mesure de la fonction neuromusculaire du haut du corps est importante pour de nombreux sports, car la fatigue pourrait être causée par des mouvements tels que les lancers ou tirer (ex : lancer du poignet au hockey), l'action de pousser (bataille un contre un) et l'action d'agripper (le chandail de l'adversaire pendant une bataille) (Twist *et al.*,

2013). Toutefois, cela reste au stade hypothétique et pourrait suggérer des développements futurs intéressants.

De plus, nous avons mesuré le ratio entre l'indice de force réactive (RSI) et de la force de préhension. Ce ratio était utilisé pour nous fournir une rétroaction immédiate pour déterminer si l'athlète subissait une fatigue périphérique ou centrale en se basant sur l'idée que si les deux mesures diminuaient, la fatigue serait plus susceptible de diminuer la performance des tests (Gathercole *et al.*, 2015)

#### 5.1.7 Le test sur glace

Comme mentionné dans la recension 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 *et al.*, 1995). Malgré que les tests de puissance anaérobie puissent être des prédicteurs significatifs de l'accélération et de la vitesse chez les joueurs de hockey, il reste que la seule manière d'évaluer le transfert des tests hors-glace est en faisant des tests sur glace (Peterson *et al.*, 2016). Le hockey 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). Le taux de développement de force est essentiel dans les changements de direction rapides (Marshall *et al.*, 2014; Spiteri *et al.*, 2015). 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 un facteur déterminant de la performance au hockey sur glace (Bishop *et al.*, 2003). Il est donc primordial d'évaluer l'habileté des joueurs à répéter des sprints (Bishop *et al.*, 2003). Le *Peterson on-ice test* requiert une capacité à répéter huit sprints sur glace d'une durée d'environ 23 secondes (présence moyenne sur glace d'un joueur de hockey) avec un temps de repos de 90 secondes entre chaque sprint, donc 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 de la thèse (Appendice F). La première étant l'indice de fatigue qui est généralement utilisée dans la littérature 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. La troisième est 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. Le *Brower Timing Tci Wireless Timing system Smart Start* a servi pour calculer le temps des sprints. La fiabilité de ces outils ne fait aucun doute sur la fiabilité de nos résultats (Waldron *et al.*, 2011).

#### 5.1.8 Le ratio de la force relative

Ce ratio (poids soulevé/poids corporel x 100), a été démontré dans la littérature qu'un individu plus fort peut obtenir de meilleurs résultats de la PAP après un entraînement CT (Esformes *et al.*, 2010; Evetovich *et al.*, 2015; Karampatsos *et al.*, 2013; Kümmel *et al.*, 2016; Lim *et al.*, 2013; Linder *et al.*, 2010; Terzis *et al.*, 2012; Terzis *et al.*, 2009).

## 5.2 Les mesures anthropométriques sur la performance

L'indice corporel qui est un résultat personnalisé lors du *NHL Combine* qui regroupe la grandeur, la masse maigre et le potentiel du développement physique évalué par le médecin, a une importance lors de la sélection des attaquants durant le repêchage de la LNH, alors que pour les défenseurs la puissance et l'indice de fatigue semblent être des points plus importants pour les recruteurs (Burr *et al.*, 2008). La composition corporelle du joueur de hockey est une donnée anthropométrique 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'était donc pas surprenant de constater lors de cette étude que la majorité de nos sujets ont un pourcentage en dessous de 10 % de gras. De plus, en sachant leur composition corporelle, nous étions 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 comme mentionnée ci-haut (Burr *et al.*, 2008).

D'autre part, quelques études ont démontré que le niveau d'entraînement d'un individu peut influencer les réponses au niveau de la PAP et de la fatigue à la suite d'une pré-sollicitation musculaire et serait un prédicteur pour utiliser efficacement une méthode qui augmenterait la potentialisation par post-activation la journée de la compétition (Esformes *et al.*, 2010; Evetovich *et al.*, 2015; Karampatsos *et al.*, 2013; Kümmel *et al.*, 2016; Lim *et al.*, 2013; Linder *et al.*, 2010; Terzis *et al.*, 2012; Terzis *et al.*, 2009). C'est pour cette raison que l'un de nos critères d'inclusions de ce projet chez nos participants était qu'ils devaient avoir un minimum de deux années d'expérience à l'entraînement en résistance (*Moy* :  $3.2 \pm 1.8$ ). De plus, le ratio de la force relative de l'athlète semble aussi jouer un rôle important pour exploiter la PAP. Ce ratio calculé de cette manière (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 lorsqu'ils sont en mesure de lever 2 x leur poids corporel comparativement à ceux ayant un ratio de force relative plus faible, soit de 1.5 x leur poids corporel (Harrison, 2011; Hrysonmallis *et al.*, 2001; Seitz *et al.*, 2014). La majorité de la littérature suggère que les athlètes entraînés en force et en puissance depuis plusieurs années développent une résistance à la fatigue à des charges plus élevées et peuvent bénéficier davantage des entraînements PAP lorsqu'exécutés la

même journée de leur compétition (Stone *et al.*, 2008). Bref, la littérature suggère que, pour la relation entre la potentialisation maximale et la force relative de l'athlète, les sujets plus forts atteignent une PAP plus tôt et plus grande que les sujets plus faibles à la suite d'un entraînement CT et pourraient améliorer leurs performances PAPE (Suchomel *et al.*, 2016).

Concernant notre étude, nous avons estimé la moyenne de la charge maximale soulevée (1RM) des participants à l'aide de la formule de Wathen ( $w = \text{weight lifted}$ ,  $r = \text{the number of reps performed}$ ) en convertissant leurs 5RM de la 3e série du trap bar deadlift au tableau 4.2 dans la section résultats.

$$1RM = \frac{100 \cdot w}{48.8 + 53.8e^{-0.075 \cdot r}}$$

Pour le poids corporel des groupes, les données ont été prises du tableau 4.1 dans la section résultats. L'estimation de leurs 1RM était de  $223 \pm 11.1 \text{ kg}$  et le ratio de la force relative est de  $2.6 \pm 0.2$  pour le groupe 8HTP et de  $221 \pm 13.1 \text{ kg}$  et le ratio de la force relative de  $2.7 \pm 0.1$  pour le groupe 4HTP. Suite à cette constatation, nous pouvons conclure en lien avec la littérature que la force relative de l'athlète est fortement corrélée avec les chances de réussite de l'utilisation d'un entraînement complexe (PAPE).

### 5.3 L'entraînement complexe (CT)

Nos résultats montrent que l'entraînement complexe (CT) a permis d'améliorer la performance sur plusieurs aspects physique et ce indépendamment du moment effectuée (8 vs 4 heures au préalable). L'aspect le plus probant semble être au sprint sur glace de 40 mètres où le CT 8 heures avant semble être le plus marquant. L'une des explications serait que l'entraînement CT améliore le profil force-vitesse de

l'athlète et permettrait d'augmenter la vitesse de patinage durant la phase d'accélération qui serait plus observée sur la distance de 40 mètres comparativement au temps total du Peterson On-Ice test (Dæhlin, T. E. *et al.*, 2017; Lagrange *et al.*, 2020). Les effets de PAPE semblent prétendre qu'un temps de repos de plus de quatre heures soit nécessaire chez les joueurs de hockey pour améliorer les sprints répétés de 40 mètres. D'autre part, notre approche CT diffère d'autres auteurs, mais est néanmoins en lien avec les résultats d'autres chercheurs. La méthode la plus utilisée par les préparateurs physiques pour exploiter la PAP est l'entraînement complexe (CT) qui consiste à effectuer un exercice en musculation avec une charge lourde suivie d'un mouvement pliométrique qui partage la même biomécanique et cible le même groupe musculaire (Comyns *et al.*, 2010). Ces complexes d'entraînement augmentant la potentialisation en force-puissance impliquent un mouvement de puissance à force élevée qui est utilisé pour potentialiser la performance du mouvement de vitesse ou de puissance après celui-ci. L'entraînement CT est considéré par plusieurs comme une méthode d'entraînement bénéfique pour développer la puissance et augmenter le taux de force de développement (RFD, *rate of force development en Anglais*) de l'athlète rapidement (Burger, 1999; Ebben, 2002; Lagrange *et al.*, 2020; Mohar *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2008). Le principe de l'entraînement CT est en lien avec le potentiel post-tétanique qui fait référence à la théorie qu'une réponse musculaire plus grande sera atteinte si celle-ci est précédée par une contraction musculaire très forte. La majorité des études ont démontré que la durée de la potentialisation par post-activation (PAP) et la performance post-activation (PAPE) peuvent durer entre 5-30 minutes (Alves *et al.*, 2019; Edwards *et al.*, 1977; Gouvea *et al.*, 2013; Güllich *et al.*, 1996; Hodgson *et al.*, 2005; Kilduff *et al.*, 2008; Robbins, 2005; Wilson *et al.*, 2013) et plusieurs études ont montré qu'un seul exercice de résistance effectué entre 3 et 20 minutes avant la compétition pourrait augmenter la puissance explosive de l'athlète (Aagaard *et al.*, 2002; Alves *et al.*, 2019; Gourgoulis *et al.*, 2003; Güllich *et al.*, 1996; Matthews *et al.*, 2004; Sale

2002; Sargeant *et al.*, 1987; Woolstenhulme *et al.*, 2004). Pourtant plusieurs mécanismes au niveau neural y compris l'activation du système nerveux central (Young *et al.*, 1998), le recrutement des unités motrices (Duchateau *et al.*, 2003), le codage neuronal (Enoka, 1995), la diminution de l'inhibition des réflexes (Rosenbaum *et al.*, 1995) et plusieurs facteurs morphologiques de l'individu peuvent permettre de s'étendre au-delà de la fameuse fenêtre de 30 minutes (Nuzzo *et al.*, 2016). Ce n'est que récemment que quelques études ont commencé à explorer les effets de la performance post-activation (PAP) à la suite d'un entraînement en résistance plusieurs heures avant la compétition.

Plusieurs études appuient notre choix de la charge utilisée (80 % 1RM) pour 3 séries de cinq répétitions au trap bar deadlift. De ce fait, l'étude de (González-Badillo *et al.*, 2016), a été en mesure de montrer qu'un entraînement avec trois séries de quatre répétitions avec des charges de 80 % 1RM au bench-press et back squat, les participants avaient été en mesure de récupérer 6 heures suite à l'entraînement en mesurant la performance du test CMJ. Une autre étude de (Raastad *et al.*, 2000), a démontré que les participants qui avait exécuté un entraînement à intensité modérée (80 % 1 RM) au front squat et back squat, leurs valeurs de référence au niveau de la fatigue musculaire avaient pu revenir à la normale 3 heures plus tard après l'entraînement. Dans une autre étude, les auteurs ont été en mesure de démontrer que les participants ayant une prédominance des chaînes de myosine lourde (MHC IIa) semblaient induire une potentialisation par post-activation plus élevée et cela aurait entraîné une restauration du taux initial de développement de force (RFD) avant la deuxième séance d'exercice de résistance à haute intensité exécuté l'après-midi de la première séance (Chiu *et al.*, 2004). D'autres auteurs (Bompa *et al.*, 2015) mentionnent qu'en mesurant la vitesse d'exécution de la barre (0.4-0.5 m/s) lorsque notre objectif est le développement de la force maximale au-dessous de 80 % 1 RM, l'entraînement PAP aurait des bienfaits mesurables si l'entraînement est exécuté entre

6 et 24 heures avant la compétition. Une autre étude de (Cook *et al.*, 2014), a démontré chez les joueurs de rugby que l'entraînement matinal soit six heures avant la compétition, pourrait entraîner une augmentation de la performance grâce à la réponse hormonale.

Dans la littérature, la majorité des études sur ce sujet semblait démontrer qu'une récupération de 6 heures entre l'entraînement PAP et la compétition était la fenêtre temporelle optimale pour obtenir les effets potentialisateurs pour optimiser la performance puisque la fatigue se dissipe à un rythme plus rapide que les effets potentialisateurs de la PAP. À ce jour chez les joueurs de hockey, seul la recherche de (Matthews *et al.*, 2010) avait tenté la méthode CT en utilisant des élastiques pour créer une résistance sur glace lors d'un sprint de 10 sec avant d'obtenir 4 minutes de repos et d'exécuter un sprint sur 25 mètres sur glace sans élastique. Notre dernière recherche (Lagrange *et al.*, 2020) fût la première à investiguer l'effet d'un entraînement (CT) 6 heures avant des tests répétés sur glace chez les joueurs de hockey, et de démontrer une différence significative sur le temps total de 9 sprints de 40 mètres comparés au groupe contrôle qui n'avait pas exécuté un entraînement CT 6 heures avant les tests physiques. Lors de l'entraînement CT de ce projet, la perception de l'effort des participants en moyenne pour le groupe 8HPT et 4HPT lors de la dernière série a atteint  $8.3 \pm 0.9$  sur 10 sur l'échelle de (Zourdos *et al.*, 2016). Ce qui signifie que les résultats observés sur les tests neuromusculaires seraient reliés à l'approche PAP et non à des différences de motivation ou d'intensité d'exécution des pré et post tests.

#### 5.4 L'entraînement complexe (CT) sur la performance du saut en longueur

Conformément au concept qui a été supporté à plusieurs reprises dans la littérature, la force musculaire de l'athlète est corrélée à un meilleur taux de force de

développement (RFD), de puissance et par l'augmentation de la performance dans les sauts (Suchomel *et al.*, 2016). Les participants 8HPT et 4HPT ont été en mesure d'obtenir une amélioration significative dans le saut en longueur, suite à l'entraînement CT. Le saut en longueur n'est pas un test commun dans la littérature puisque la majorité des auteurs priorisent le SJ et le CMJ lors des protocoles de PAP. Il reste que quelques études ont été en mesure de démontrer une amélioration après 1 et 4 minutes de repos lors de l'exécution des sauts en longueur suite à un exercice au-dessous de 80 % 1RM (Beato *et al.*, 2019; Bechtel *et al.*, 2018; Scott *et al.*, 2004; Seitz *et al.*, 2016). Au hockey, la génération de la force verticale est nécessaire pour atteindre la vitesse maximale pendant les sprints alors que pendant l'accélération la composante horizontale de la force de réaction sur la glace est plus importante que la force verticale (Lockie *et al.*, 2013; Morin *et al.*, 2011; Weyand *et al.*, 2000). C'est la raison principale pour laquelle les préparateurs physiques lors du *NHL Combine* évaluent avec importance le saut en longueur comme test primaire pour évaluer la puissance musculaire des joueurs de hockey (Gledhill *et al.*, 2007). À ce jour, les recherches sont insuffisantes dans la littérature pour déterminer si, suite à une PAP, l'augmentation de la performance PAPE dans le saut en longueur pourrait améliorer la vitesse et la performance de patinage lors de mouvement majoritairement horizontal. Seulement la recherche de Lagrange *et al.* (2020), avait essayé de démontrer une corrélation entre l'augmentation des sprints répétés et la performance au saut en longueur 6 heures après un entraînement PAP chez les joueurs de hockey (Gourgoulis *et al.*, 2003; Hanson *et al.*, 2007; Hirayama, 2014; Jensen *et al.*, 2003). Bref, le résultat de ce projet suggère que l'amélioration significative pour les groupes 8HPT (13.4 cm  $\pm$  8.2 cm) et 4HPT (10.6 cm  $\pm$  7 cm) de la puissance horizontale peut être avantageuse pour la performance des joueurs de hockey en ayant obtenu une diminution significative du temps total des 8 sprints répétés sur glace.

## 5.5 L'entraînement complexe (CT) sur la performance du SJ et CMJ

Comme constaté dans la revue de la littérature de cette thèse (Chapitre II), les exercices les plus courants pour évaluer la performance de la PAP d'un athlète est le saut vertical sans élan (SJ) et le saut de contre-mouvement (CMJ) (Andrews *et al.*, 2011; Berning *et al.*, 2010; Chiu *et al.*, 2012; Clark *et al.*, 2006; Crum *et al.*, 2012; de Villarreal *et al.*, 2011; El Hage *et al.*, 2011; Fukutani *et al.*, 2014; Kilduff *et al.*, 2008; Lagrange *et al.*, 2020; Lowery *et al.*, 2012; Mangus *et al.*, 2006; Mitchell *et al.*, 2011; Moir *et al.*, 2011; Scott *et al.*, 2004; Taylor *et al.*, 2012; Witmer *et al.*, 2010). Notre recherche, comme plusieurs citées ci-haut, n'a observé aucune différence significative dans le saut à contre mouvement (CMJ) huit et quatre heures suivant l'entraînement PAP chez les deux groupes, tout comme notre dernière recherche six heures après un entraînement PAP (Lagrange *et al.*, 2020). Dans le groupe 8HPT une amélioration légère de  $0.7 \pm 3.8$  cm ( $d=0.2$ ) a été remarquée alors que dans le groupe 4HPT une diminution de  $-5.5 \pm 5.9$  ( $d=-0.7$ ) cm a été constatée. Pourtant, dans ce projet, nous avons réduit le volume à trois séries de cinq répétitions au trap bar deadlift comparé à notre ancienne étude (Lagrange *et al.*, 2020) où nous avons utilisé un volume de cinq séries de cinq répétitions au Inertia Squat. Malgré la modification des paramètres d'entraînement au niveau du volume et du temps de repos, cela ne nous a pas permis d'augmenter la performance au CMJ malgré ce que la littérature sur la PAP suggère (Chaouachi *et al.*, 2011; Masiulis *et al.*, 2007; Wilson *et al.*, 2013). De plus, la performance du saut vertical dans les études est souvent obtenue entre 4-8 minutes après l'exercice au-dessus de 80 % 1 RM (Evetovich *et al.*, 2015; Nibali *et al.*, 2015; Seitz *et al.*, 2016; Tillin *et al.*, 2009; Tobin *et al.*, 2014). Il est donc probable que pour obtenir une augmentation dans le CMJ, l'intervalle de repos doit être plus court que quatre heures suite à un entraînement PAP, puisque les effets optimaux de potentialisation peuvent se dissiper, ce qui peut ne conclure à aucun changement de performance.

Pour ce qui est du saut statique (SJ), une amélioration significative a été obtenue pour le groupe 4HPT, soit une augmentation de  $7.6 \text{ cm} \pm 5.5 \text{ cm}$  ( $p=0.04$ ,  $d=1.5$ ) ce qui n'a pas été le cas chez les participants du groupe 8HPT malgré une augmentation du SJ  $5.5 \text{ cm} \pm 5.8 \text{ cm}$  ( $p=0.1$ ,  $d=0.8$ ). Il n'existe qu'un nombre limité d'études examinant la récupération musculaire des performances neuromusculaires après une séance d'entraînement en résistance et qui a montré qu'il pourrait y avoir une amélioration positive dans les 6 à 48 heures suivantes lorsque la fatigue est minimisée (Chen *et al.*, 2011; Cook *et al.*, 2014; Ekstrand *et al.*, 2013; Gonzalez-Badillo *et al.*, 2016). L'augmentation du SJ chez le groupe 4HPT pourrait être expliquée par une meilleure efficacité du recrutement des fibres musculaires du groupe entraîné plus tôt pour produire le mouvement voulu avec une plus grande force et puissance déployée (Verkhoshansky *et al.*, 2009). Sachant que les différents mécanismes de la potentialisation post-activation amèneraient une amélioration du recrutement des unités motrices et de la force musculaire seulement entre 5 à 30 minutes (Chiu *et al.*, 2003; Nuzzo *et al.*, 2016), ceci pourrait expliquer que ce phénomène améliore les performances motrices au niveau de la force seulement dans une fenêtre très rapprochée (4HPT vs 8HPT) de l'entraînement PAP grâce à une inhibition neuromusculaire réduite (Wilson *et al.*, 1996). Cette hypothèse qu'un entraînement avec des charges lourdes (+80 % 1RM), puisse diminuer l'efficacité de la rétroaction des motoneurones spinaux Ib, réduisant une inhibition neuromusculaire et augmentant la production de la force, a été rapporté par les recherches de (Aagaard *et al.*, 2000). Les heures suivant un entraînement amèneraient des adaptations neurologiques importantes et engendreraient une augmentation du taux de force de développement et une diminution de l'inhibition neuromusculaire conduisant à des améliorations de la force et puissance déployée par les athlètes (Aagaard *et al.*, 2002, 2002). De ce fait, la force maximale d'un athlète peut être améliorée plus favorablement à l'aide d'exercice à mouvement partiel comparativement à un

exercice avec une amplitude de mouvement complet (Crum *et al.*, 2012; Suchomel *et al.*, 2016; Zatsiorsky *et al.*, 2006). La sélection de notre exercice de PAP, le trap bar deadlift qui a une amplitude de mouvement moins grand que le squat ou le deadlift conventionnel, est appuyé par des recherches antérieures qui ont démontré que l'utilisation de mouvements partiels peut permettre à l'athlète d'utiliser des charges supra-maximales et pourrait favoriser l'augmentation de la force de production plus rapidement (Suchomel *et al.*, 2016; Wilson *et al.*, 1996).

Un fait intéressant est que, malgré l'augmentation non significative chez le groupe 8HPT dans le SJ et CMJ, celui-ci est le seul à n'avoir obtenu aucune diminution lors des performances des sauts. Nous présumons que l'amélioration serait causée principalement par l'excitation du système nerveux qui augmenterait la fonction de la contractilité du muscle due à une contraction volontaire d'une charge lourde huit heures plus tôt (Rixon *et al.*, 2007). Cette amélioration du CNS peut être constatée par une meilleure puissance musculaire et un meilleur taux de force de développement déployé  $75.4 \pm 401.8$ (W) chez le groupe 8HPT, ce qui explique la légère hausse de performance du CMJ. Alors qu'une diminution de  $-586.9 \pm 630.7$  (W) chez le groupe 4HPT explique la diminution de la performance du CMJ. Une autre hypothèse pourrait être lié au principe de Henneman qui indique que l'utilisation des charges lourdes produirait une activation supérieure des fibres de type II par rapport aux charges légères (Duchateau *et al.*, 2003) et optimiserait le développement de la force musculaire par l'amélioration de la coordination intra et inter musculaire (Verkhoshansky *et al.*, 2009).

Bref, les résultats du test CMJ peuvent nous indiquer qu'un athlète aurait un meilleur taux de développement de la force (RFD) puisqu'ils sont corrélés avec une augmentation de la puissance (W), et le contraire avec un athlète qui aurait un saut SJ élevé puisqu'il serait corrélé avec une diminution de la puissance (W). C'est pour

cette raison que l'utilisation du ratio du taux d'utilisation excentrique (EUR) est un outil important. La différence entre les deux sauts est un indicateur qui peut révéler la capacité d'un athlète à utiliser efficacement le cycle de raccourcissement d'étirement (CER) et du RFD qui est un facteur critique dans de nombreux sports d'explosion. Ce ratio qui a été amélioré significativement chez le groupe 4HPT à cause de leur amélioration significative de leur SJ de  $1.2$  à  $1 \pm 0.2$ . Il reste que le groupe 8HPT a aussi obtenu une amélioration (non significative) de  $1.2$  à  $1.1 \pm 0.2$ . De ce fait, en observant les résultats du % SSC, nous constatons une diminution de 22 % de l'efficacité d'utilisation du CER en passant de 18 % à -4 % comparativement à une diminution du groupe 8HPT de 7 % en passant de 14 % à 7 %. L'entraînement PAP a donc permis aux deux groupes d'améliorer leurs performances dans la majorité de leurs sauts. Par contre, l'efficacité du CER semble grandement affectée, plus l'entraînement est rapproché des tests physiques et la diminution des performances des deux groupes serait associée à l'inhabilité du muscle à stocker et utiliser l'énergie élastique qui est plus faible.

## 5.6 L'entraînement complexe (CT) sur la performance du drop jump

Les caractéristiques de performance des athlètes peuvent être mesurées de différentes manières et l'indice de force réactive (RSI) est une variable qui peut être utilisée pour évaluer la force réactive et la performance de l'athlète à l'entraînement (Flanagan *et al.*, 2008; McClymont, 2003). Le RSI est souvent mesuré dans la littérature avec l'aide du drop jump pour analyser l'amélioration du système neuromusculaire (Bobbert *et al.*, 1996; Bobbert *et al.*, 1987, 1987; Bomfim Lima *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2013; Hilfiker *et al.*, 2007). Malgré que l'entraînement PAP n'a apporté aucune amélioration significative pour l'ensemble des 4 sauts (30, 45, 60 et 75 cm) dans les drop jumps, le groupe 8HPT a augmenté  $\pm 3.2$  cm en gardant le même temps de contact au sol (GCT). Alors que le groupe 4HPT a vu diminuer la somme totale des 4

sauts  $\pm 7.3$  cm, en plus d'augmenter le temps de contact au sol (GCT) de 0.1 ms. La capacité des athlètes ayant effectué un protocole PAP 8HPT semble avoir une meilleure capacité à passer rapidement d'une contraction musculaire excentrique à une contraction musculaire concentrique (Young, 1995). L'amélioration du ratio du RSI de 2.3 % pour le groupe 8HPT nous permet de constater cette hypothèse. D'autre part, étant donné que la valeur RSI dépend de deux variables (temps de contact au sol et la hauteur du saut), ce test est sensible aux changements de performance. De ce fait, l'amélioration du ratio RSI de 31.6 % chez le groupe 4HPT correspond à la diminution de la hauteur du saut après l'atterrissage et à l'augmentation du temps de contact au sol. De plus, l'augmentation de la hauteur du drop jump influence fortement la technique de saut et la biomécanique du saut, et pourrait fausser certaines données (Bobbert *et al.*, 1987, 1987). C'est pour cette raison que plusieurs revues de la littérature suggèrent d'utiliser les tests RSI avec la même hauteur de boîte pour le drop jump comme un suivi quotidien pour mesurer la fatigue neuromusculaire d'un athlète et qu'il ne nous permet pas à lui seul d'émettre une conclusion (Flanagan *et al.*, 2008; Martinez, 2016). Il reste que ce test est fiable pour évaluer la capacité d'un athlète à utiliser efficacement le cycle d'étirement raccourcissement (Suchomel *et al.*, 2016). Bref, l'amélioration constatée dans notre étude permettrait aux athlètes du groupe 8HPT de générer une force musculaire maximale plus élevée et déployer un taux de développement de la force (RFD) et de puissance plus rapidement que le groupe 4HPT. Cette amélioration amenée par l'entraînement PAP serait en lien avec le système nerveux central qui amènerait une augmentation de la sensibilité de la fibre sensorielle afférente de type Ia et une activation musculaire périphérique plus élevée du muscle travaillé plus tôt (Tillin *et al.*, 2009).

## 5.7 L'entraînement complexe (CT) sur la performance du grip test

Le phénomène de la PAP dans lequel les caractéristiques des performances neuromusculaires sont améliorées après une stimulation contractile intense avant, est chose connue (Hodgson *et al.*, 2005). La production de force est l'une des mesures de critères les plus importantes dans les études examinant le système neuromusculaire (Lima *et al.*, 2014). La force de préhension est corrélée avec la force musculaire (Wind *et al.*, 2010) d'un individu et est un outil utilisé dans les milieux sportifs (Saint-Maurice *et al.*, 2015). Nos résultats ont démontré une amélioration significative pour le test de préhension de la main gauche chez le groupe 8HPT, soit une amélioration de  $10.6 \pm 7.4$  kg et une amélioration de  $0.2 \pm 2.8$  kg de la main droite. Les améliorations pourraient être amenées par les charges de plus de 80% du 1 RM soulevé au TBD en agrippant la barre. La fatigue périphérique de l'entraînement PAP qui se produit normalement au niveau des jonctions musculaires ne semble pas avoir affecté le groupe 8HPT (Fernandez-del-Olmo *et al.*, 2013; Kent-Braun, 1999; Nicol *et al.*, 2006). Cette hypothèse peut être appliquée au groupe 4HPT malgré le fait qu'aucune différence significative n'ait été diagnostiquée, une augmentation des résultats du test de préhension de  $4.4 \pm 5.1$  kg de la main gauche et de  $5.6 \pm 6.2$  kg de la main droite a pu être observée. Malgré que plusieurs recherches étudient ce test au niveau de la performance dans plusieurs sports, aucune à ce jour ne l'a utilisé comme prédicteur de performance de l'entraînement PAP chez les joueurs de hockey (Cronin *et al.*, 2017). L'importance de la force de préhension est requise dans la plupart des mouvements et tâches spécifiques au hockey tel que lorsque les joueurs patinent tout en agrippant un bâton. Les résultats de notre étude permettent d'observer que l'augmentation neuromusculaire et de la force des membres supérieurs des groupes 8HPT et 4HPT semblent s'améliorer, puisque les deux groupes ont été en mesure d'augmenter la somme totale du test de préhension (8HPT :  $10.8 \pm 9$ , 4HPT :  $10 \pm 8.1$ ), suite à un entraînement CT huit heures ou quatre heures avant.

Par ailleurs, lors de notre étude nous avons mesuré le ratio entre l'indice de force réactive (RSI) expliqué ci-haut et celui de la force de préhension. Ce ratio était utilisé pour nous fournir une rétroaction immédiate afin de déterminer si l'athlète subit une fatigue périphérique ou centrale en se basant sur l'idée que si les deux mesures diminuent, la fatigue sera plus susceptible de diminuer la performance des tests (Gathercole *et al.*, 2015). Les résultats constants du groupe 8HPT ( $0 \pm 0.2$ ) et 4HPT ( $0 \pm 1.2$ ), viennent confirmer notre hypothèse que les athlètes de cette étude, suite à l'entraînement PAP, n'ont pas diminué leur performance post-activation PAPE qui aurait pu être causé par la fatigue périphérique du système nerveux central. À ce moment, on aurait observé une diminution dans le ratio (Gathercole *et al.*, 2015). Ce test, comme démontré dans la littérature, peut servir d'outil pour évaluer la fatigue musculaire de manière fiable, et prévenir les blessures en sachant que l'augmentation de performance des tests neuromusculaires CMJ et SJ des groupes 8HPT et 4HPT sont corrélée avec l'augmentation de la performance du test de préhension (Johnston *et al.*, 2013; Twist *et al.*, 2013).

#### 5.8 L'entraînement complexe (CT) sur la performance des sprints sur glace

Les parties de hockey au niveau élite commencent généralement à différents moments de la journée à cause du voyageage des équipes dans des fuseaux horaires différents et des exigences des programmes télévisés. Les joueurs doivent être en mesure de s'adapter rapidement et trouver des stratégies pour s'améliorer sur la glace en sachant que l'aptitude à sprinter, récupérer et sprinter à nouveau est un facteur déterminant de la performance au hockey (Bishop *et al.*, 2003). La majorité des recherches et méta-analyses suggèrent que suite à un entraînement PAP analyse l'amélioration de la vitesse des sprints (Bevan *et al.*, 2010; Chatzopoulos *et al.*, 2007; Chmiel *et al.*, 2016; Comyns *et al.*, 2010; Lim *et al.*, 2013; Seitz *et al.*, 2016;

Tsimachidis *et al.*, 2013; Wilson *et al.*, 2013). Par contre, seulement deux recherches à ce jour ont appliqué un entraînement PAP et évalué l'amélioration de celui-ci sur les sprints sur glace chez les joueurs de hockey (Lagrange *et al.*, 2020; Matthews *et al.*, 2010). Selon nos résultats, l'entraînement CT augmentant la PAPE est une stratégie qui peut être utilisée pour augmenter la performance sportive et augmenter les sprints répétés chez des joueurs de hockey la journée même de la compétition (Turner *et al.*, 2017). De ce fait, une amélioration significative chez le groupe 8HPT a été observée pour les sprints 4, 5, 6 et 8 tout en diminuant le temps total des 8 sprints de  $7.4 \pm 6$  secondes en passant de  $181.4 \pm 8.6$  secondes pré-test à  $174 \pm 5.4$  secondes post-intervention. Alors que les joueurs du groupe 4HPT ont vu leur performance s'améliorer significativement seulement dans les sprints 2 et 3. Il est important de souligner que lors du sprint 3 pré-test du groupe 8HPT, un encouragement non-standardisé d'un pair lors de la collecte des données aurait pu augmenter la motivation et la performance du groupe. C'est l'une des raisons que nous croyons que le groupe 8HPT n'a pu être en mesure d'améliorer ses résultats pré et post intervention lors du sprint 3. Il reste que le groupe 4HPT n'a pas été affecté par cette hypothèse. Plusieurs recherches ont démontré une amélioration des performances lorsqu'un encouragement avait lieu (Cook *et al.*, 2012). De plus, pour s'assurer des résultats égaux pré et post intervention entre les deux groupes au niveau de l'amélioration des sprints répétés, nous avons utilisé des méthodes d'analyses des données pour les tests de sprints répétés (RSA) (Bishop *et al.*, 2003; Spencer *et al.*, 2005). Le temps des sprints totaux, l'indice de fatigue et la perception à l'effort sont les mesures les plus utilisées pour observer l'amélioration de la performance et l'apparition de la fatigue (Oliver, 2009). Les résultats obtenus lors de ce projet, nous ont permis d'observer l'effort égal des deux groupes et nous permettent d'émettre comme hypothèse que l'amélioration des sprints serait liée à l'entraînement CT. Dans des recherches futures, il serait intéressant d'envisager d'utiliser les

technologies émergentes comme Iceberg, InStat, SportLogIQ qui permettent d'obtenir la vitesse de patinage avec et sans la rondelle.

Dans les résultats obtenus, 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 suite à une contraction volontaire d'une charge lourde huit ou quatre heures plus tôt (Rixon *et al.*, 2007). L'entraînement CT aurait permis au groupe 8HPT d'augmenter l'excitabilité musculaire en ayant des contractions musculaires plus puissantes pour permettre aux joueurs de patiner plus rapidement. L'adaptation neurologique dans le stade initial de l'entraînement en résistance est principalement causée par l'augmentation de la force maximale attribuée par l'activation améliorée des unités motrices du muscle agoniste entraîné (Häkkinen *et al.*, 1998; Häkkinen *et al.*, 2001; Häkkinen *et al.*, 2001). Une autre étude a démontré que la pré-sollicitation musculaire d'un exercice intense pourrait augmenter les adaptations neuronales et augmenter le taux de développement de la force (Heckman *et al.*, 2012).

De plus, l'amélioration de la force de production (RFD) pourrait améliorer la vitesse des sprints avec des temps de contact sur glace réduits. Dans notre étude, nous avons été en mesure d'observer une amélioration significative pour la vitesse moyenne (m/s) des sprints de 40m chez le groupe 8HPT (Sprints 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 8) et chez le groupe 4HPT (Sprint 2, 3, 4, 5, 6 et 7). Cette amélioration causée par l'entraînement musculaire 8 et 4 heures plus tôt, améliore le métabolisme anaérobie et favorise les adaptations musculaires au niveau neuromusculaire pour améliorer la production de force (Farup *et al.*, 2012). La différence des performances entre les groupes 8HPT et 4HPT pourrait indiquer que la performance serait limitée par la capacité à produire un taux de développement de la force plus rapide (Weyand *et al.*, 2010). Cette hypothèse

serait logique puisque le groupe 8HPT est le groupe qui s'est démarqué à la puissance déployée (W) lors des sauts.

Par ailleurs, un effet positif de l'entraînement en force peut se produire indépendamment des changements au niveau cardiorespiratoire à court et long terme (Aagaard *et al.*, 2010). De ce fait, une amélioration significative au niveau de la fréquence cardiaque chez le groupe 4HPT ( $165.7 \pm 3$  à  $163.6 \pm 2.6$ ) comparativement au groupe 8HPT ( $164 \pm 2.4$  à  $169.4 \pm 3.2$ ) a pu être constatée. L'amélioration du RFD pourrait améliorer la vitesse des sprints avec des temps de contact sur glace réduits. La puissance améliorée des contractions musculaires serait également susceptible de modifier l'utilisation du cycle étirement raccourcissement et réduire la demande de production ATP pour améliorer l'économie des joueurs de hockey et diminuer la fréquence cardiaque lors d'exercice à haute intensité (Paavolainen *et al.*, 1999). Cette explication concorde avec la littérature que l'entraînement PAP améliorerait les fonctions des pompes  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  pour éviter un déséquilibre de  $\text{K}^+$  suite à un potentiel d'action dans le milieu intracellulaire durant une activité à intensité élevée (Clausen *et al.*, 1998). Le meilleur fonctionnement de ce système amènerait une meilleure excitabilité et contractilité du muscle, en plus d'augmenter l'endurance musculaire (Clausen, 2003; Green *et al.*, 1999; McKenna *et al.*, 1993).

La durée du repos de quatre heures semble être la fenêtre la plus plausible que les préparateurs physiques devraient respecter pour augmenter les performances post-activation PAPE de leurs joueurs de hockey en utilisant un entraînement PAP avec des charges au-dessus de 80 % 1RM pour trois séries de cinq répétitions au TBD. De ce fait, nous pouvons observer que l'indice de fatigue du groupe 8HPT a diminué de  $0.1 \pm 5.9$  % alors que celle-ci a augmenté de  $3.3 \pm 5.8$  % chez le groupe 4HPT. Un minimum de six à huit heures est recommandé pour une récupération optimale entre un entraînement de résistance et un entraînement au niveau de l'endurance

musculaire, choses communes dans les sports d'équipes tels que le hockey (Turner *et al.*, 2017). La recherche de Robineau (2016), a été en mesure de démontrer qu'au moins six heures de récupération doit être alloué suite à un entraînement en résistance pour que les adaptations au niveau de la force et de la puissance déployées lors d'exercice d'explosion ne diminuent pas les performances musculaires (Piacentini *et al.*, 2013; Robineau *et al.*, 2016). Une autre étude de García-Pallarés (2009) chez des kayakistes de niveau élite n'a pas été en mesure de démontrer une amélioration suite à un entraînement en résistance lorsque le temps de récupération était moins de six heures avant la performance (García-Pallarés *et al.*, 2009). Bref, les améliorations des sprints répétés de notre étude sont majoritairement causées par l'amélioration de la commande neurale due à un meilleur recrutement des unités motrices et la synchronisation entre l'activation musculaire des muscles agonistes et antagonistes. La fatigue musculaire plus élevée chez le groupe 4HPT pourrait être expliquée avec une diminution de l'activation musculaire amenée par la fatigue qui amènerait un recrutement séquentiel des unités motrices en fonction de leurs tailles des plus petites (fibres lentes) au plus grandes (fibres rapides) (Henneman, 1985). D'autres changements au niveau de la rigidité musculaire et d'une apparition plus grande de la fatigue suite à un entraînement PAP peut être susceptible d'amener plusieurs perturbations homéostatiques, comme un dommage musculaire trop important, qui auraient pu diminuer la performance PAPE des tests physiques pour le groupe 4HPT (Turner *et al.*, 2017).

### 5.9 L'entraînement complexe (CT) sur la performance des groupes combinés

Lors de notre étude, nous avons été en mesure de comparer les bienfaits obtenus après un repos de huit heures et de quatre heures avant les tests physiques à la suite d'un entraînement CT. Il semble que le groupe ayant obtenu les meilleures améliorations et s'étant le plus démarqué soit le groupe 8HPT. De plus, il semble de

plus en plus clair, avec notre dernière recherche (Lagrange *et al.*, 2020) et notre présente étude, qu'un repos d'un minimum de six heures entre l'entraînement CT et la compétition, soit nécessaire. La fenêtre temporelle entre l'exercice de pré-sollicitation maximal exécuté plus tôt et les tests est l'un des facteurs à ne pas négliger (Chatzopoulos *et al.*, 2007; Docherty *et al.*, 2007). Cependant, durant la saison, les préparateurs physiques, avec l'horaire chargé des joueurs la journée d'une compétition, ne pourront pas toujours être en mesure de respecter le délai de la récupération qui semble être d'au moins six heures suite un entraînement CT. Pour cette raison, nous avons décidé d'analyser l'entraînement CT avec les groupes 8HPT et 4HPT combiné (tableau 4.8) ensemble, pour vérifier l'avantage d'un entraînement CT global sur la performance PAPE des joueurs élités de hockey. De ce fait, l'ensemble des résultats obtenus sont tous significatifs, sauf pour le temps total du sprint 3, du sprint 8 et le CMJ. Tout comme les résultats obtenus dans l'analyse (n=1) ou que les sujets étaient leur propre contrôle. Les améliorations observées dans cette thèse sont principalement engendrées par des implications physiologiques et neurologiques telles que l'augmentation de force et la production de la force déployée plus rapide (RFD), une meilleure contraction musculaire produite grâce à une amélioration du recrutement des unités motrices, une meilleure propagation de l'influx nerveux et d'une activation plus rapide des motoneurones (Duchateau *et al.*, 2008; Sale, 2008). Ces résultats nous permettent de justifier l'utilisation de l'entraînement CT même si l'athlète n'a que 4 heures de repos entre celui-ci et sa partie. Par contre, la réduction du volume d'entraînement utilisé dans ce projet ou la substitution par un exercice partiel est recommandée pour s'assurer de ne pas diminuer la performance PAPE de l'athlète et de bénéficier des effets neurologiques de l'entraînement CT plusieurs heures après celui-ci (Bompa *et al.*, 2015; Docherty *et al.*, 2007; Gamble, 2007; Suchomel *et al.*, 2016; Tillin *et al.*, 2009; Turner *et al.*, 2017).

### 5.10 Application pratique d'une journée typique d'une partie de hockey

Le calendrier chargé des joueurs de hockey professionnel dû à un volume élevé de parties, de pratiques et de voyage, augmente la difficulté des préparateurs physiques à concevoir une périodisation annuelle adéquate pour permettre de maintenir leurs qualités musculaires afin de prévenir les blessures et d'être en mesure de performer à leurs pleins potentiels. C'est pour cette raison principale que le déconditionnement semble être une problématique chez les joueurs de hockey en lien avec un stimulus d'entraînement insuffisant (Mujika, I. *et al.*, 2000). La journée même d'une partie de hockey offre l'occasion aux préparateurs physiques d'améliorer les performances et de maintenir les qualités musculaires de leurs athlètes plus longtemps. Dans la figure 5.1, nous retrouvons les stratégies étudiées qui peuvent être incorporées lors d'une journée de match chez les joueurs de hockey. Il reste que le déroulement d'une journée de match peut varier d'une partie à l'autre puisque les entraîneurs peuvent encourager les joueurs à dormir plus longtemps lors d'une partie à l'extérieur du domicile. Ce détail pourrait modifier grandement la figure 5.1 à la page 122. Normalement, lors de la partie à domicile, un entraînement 8HPT (Pre-game CT #1) pourrait être exécuté après la pratique du matin. L'entraînement CT exécuté huit heures avant la partie permettrait ainsi au préparateur physique d'utiliser un exercice avec une amplitude complète lors de l'entraînement comme démontré dans ce projet, soit trois séries de cinq répétitions à 80-85 % du 1 RM au TBD en alternance avec six répétitions de box jump. Par la suite, la deuxième fenêtre temporelle semble être celle de six heures avant tel que démontré dans notre recherche antérieure (Lagrange *et al.*, 2020). C'est à ce moment qu'une autre méthode CT (Pre-game CT#2) pourrait être employé tel qu'étudié dans notre étude

(Lagrange *et al.*, 2020) qui est composée de cinq séries de cinq répétitions au mid inertia back squat à 80 % 1 RM en alternance avec six squat jump. L'utilisation de charge supra-maximale avec des amplitudes de mouvements partiels permettrait de soulever des charges plus lourdes et pourrait augmenter la force maximale et le développement de la force grâce à une inhibition neuromusculaire réduite et diminuer les risques de fatigue augmentant les chances de mieux performer plus tard (Suchomel *et al.*, 2016; Wilson *et al.*, 1996; Zatsiorsky *et al.*, 2006). Cette fenêtre de six heures avant la compétition semble être la plus étudiée dans la littérature (Chiu *et al.*, 2004; Cook *et al.*, 2014; García-Pallarés *et al.*, 2009; Gonzalez-Badillo *et al.*, 2016; Lagrange *et al.*, 2020; Piacentini *et al.*, 2013; Robineau *et al.*, 2016; Woolstenhulme *et al.*, 2004). La dernière fenêtre pour incorporer l'entraînement CT serait celle de quatre heures avant la partie de hockey (Pre-game CT #3) tel que démontré dans notre présent projet puisqu'il semble y avoir encore un effet et des bienfaits neurologiques suite à celui-ci. Par contre, les préparateurs physiques doivent redoubler de vigilance lors de la sélection des paramètres de l'entraînement pour ne pas diminuer les performances de leurs athlètes et devraient respecter le délai minimum qui semble être trois heures avant (Ekstrand *et al.*, 2013). Au-delà des préparateurs physiques, il serait intéressant de connaître l'ouverture et l'opinion du personnel d'entraîneurs face à l'utilisation d'une telle approche la journée même de la partie. Il serait intéressant pour une recherche future d'employer un mouvement partiel (ex : Inertia Squat) avec un volume réduit pour évaluer les différences au niveau des améliorations obtenues à comparer du Pre-game CT#2 sur la performance des joueurs de hockey. Finalement, une autre stratégie à utiliser lorsque les préparateurs physiques n'ont pas accès à de l'équipement pourrait être un réchauffement balistique, puisque tout comme dans un entraînement en résistance, un entraînement de type pliométrique pourrait amener des améliorations temporaires de courte durée au niveau de la force de production (Davies *et al.*, 2015; Duchateau *et al.*, 2008; Edwards *et al.*, 1977; Gouvea *et al.*, 2013; Güllich *et al.*, 1996; Hodgson *et*

*al.*, 2005; Kilduff *et al.*, 2008; Robbins, 2005; Tsoukos *et al.*, 2018; Wilson *et al.*, 2013). 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 quelques minutes avant, augmente la puissance développée lors des sprints et des exercices de saut. Cette approche est fréquemment utilisée dans le monde du hockey lors de la séance d'échauffement, mais peu de personnes sont conscientes que l'amélioration suite à cette activation dynamique est causé par la PAP. 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 (E. *et al.*, 2014). De plus, une autre étude illustre une diminution du temps d'un sprint de 20 mètres (1,15 %) et de 40 mètres (1,24 %) avec l'incorporation de la pliométrie dans le réchauffement (Tsolakis *et al.*, 2012) et (Creekmur, 2015). Finalement, le volume des exercices pliométriques devrait suivre les mêmes recommandations que notre entraînement CT, c'est-à-dire que le volume de l'entraînement pourrait être plus élevé lorsqu'exécuté huit ou six heures plus tôt, et plus bas lorsqu'exécuté moins de quatre heures avant.

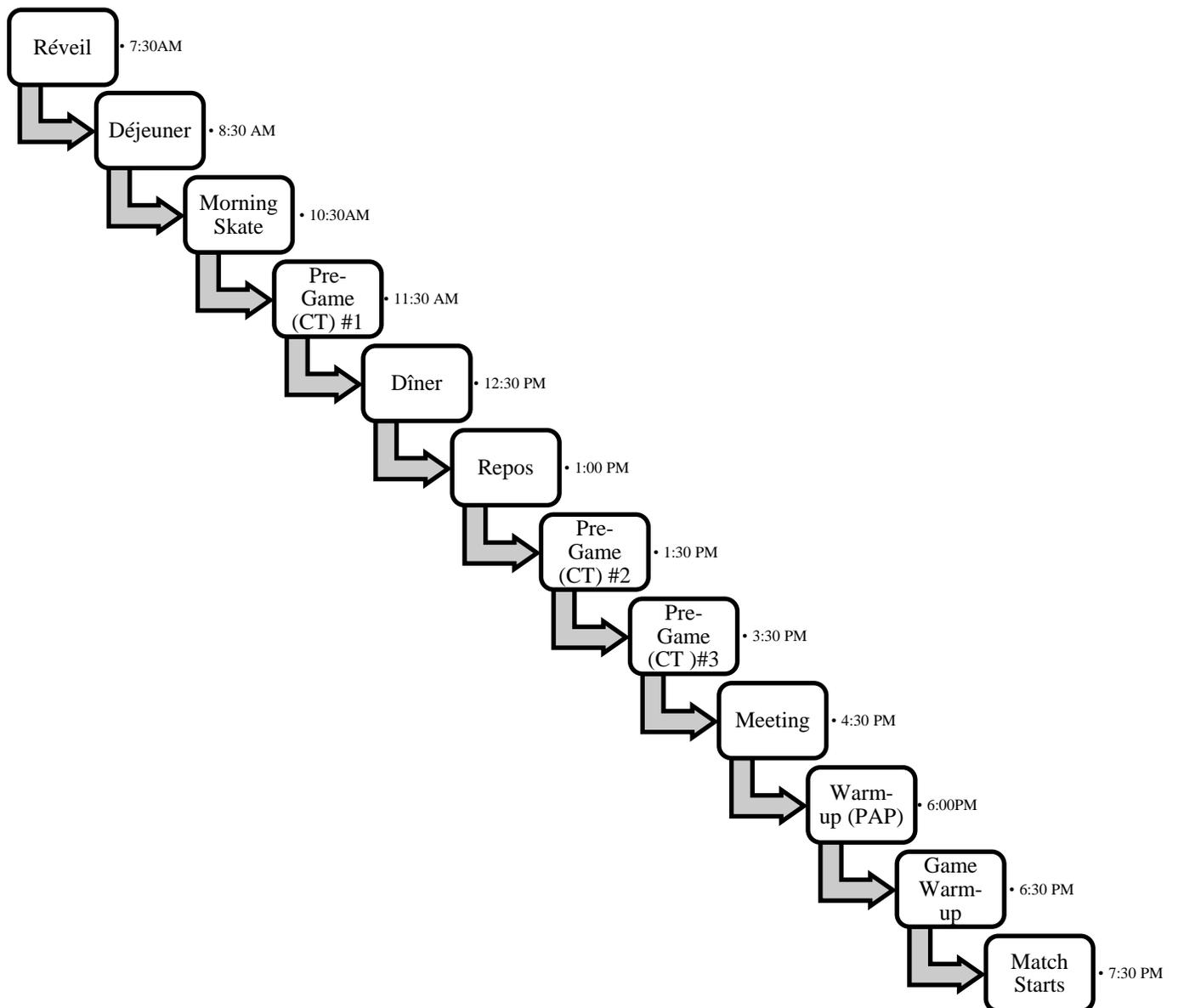


Figure 5.1 Journée de match typique chez les joueurs de hockey et les stratégies possibles pour augmenter les performances

## LIMITATIONS

La PAP semble plus apparente chez les personnes entraînées et ayant une proportion plus élevée de fibres rapides (Chiu *et al.*, 2003; Güllich *et al.*, 1996; Rixon *et al.*, 2007). Par conséquent, il sera nécessaire que les sujets aient au minimum 2 années d'expérience dans l'entraînement en résistance et qu'ils soient engagés dans un programme de musculation au moins trois fois par semaine de façon continue dans la dernière année (Wallace *et al.*, 2008). Le ratio de force relative étant une mesure de performance de la PAP, chaque participant devra confirmer qu'ils peuvent soulever au minimum 1.5 fois leur poids corporel (Chiu *et al.*, 2003). Ainsi, les personnes devraient être exclues de participer s'ils ne répondent pas à un des critères mentionnés. Aussi, les participants devraient être exclus si au moment du protocole ou avant, ils sont touchés par des troubles neurologiques ou des blessures musculo-squelettiques des membres inférieurs. Donc, ces conditions préalables pourraient limiter le choix des participants pouvant prendre part à l'étude. Notre échantillon (n=10), était assez élevé pour notre projet afin de pouvoir obtenir des résultats statistiquement significatifs au niveau de la saturation des données. Un calcul de puissance (G\*Power, Ver. 3.1.9.6) en utilisant les résultats de Lagrange et al (2020) sur la variable primaire du temps total de sprint a révélé qu'un échantillon total de 8 sujets était requis. Le calcul de puissance a été effectué en retenant un effet de taille (ET) de 1.0, une valeur *alpha* de 0.05, et *beta* de 0.80 sur un modèle ANOVA à mesures répétées sur deux facteurs (groupe x temps). Le recrutement total était de 10, alors 2 de plus que requis par le calcul de puissance. Donc, les participants recrutés ont été divisés en deux groupes (n=5 par groupe) de façon aléatoire aux fins de notre étude. Idéalement, un groupe témoin aurait permis d'éliminer tout doute possible sur certains paramètres (3 mesures versus 2). Il reste que, la démarche de l'étude

s'apparente à des joueurs/athlètes de statut élite/professionnel. D'un autre côté, des composantes pouvant expliquer les différences au niveau du profil musculaire (ex : Biopsie musculaires, EMG etc..) pourraient permettre de mieux expliquer les mécanismes de la PAPE.

## CONCLUSION

L'objectif de cette étude était d'évaluer les effets neurologiques d'un entraînement complexe (CT), augmentant la potentialisation par post-activation (PAP) sur la fenêtre temporelle optimale et de déterminer la durée des effets neurologiques sur la performance post-activation (PAPe) sur les tests physiques neuromusculaires et sous-maximales que représentent plusieurs présences sur glace. En conclusion, comme cela était attendu, l'entraînement CT a amélioré les performances PAPe dans les tests neuromusculaires des athlètes et amélioré les performances sur le temps total (s) d'exécution des sprints, le temps total (s) du premier sprint de 40 mètres et sur la vitesse moyenne (m/s) des sprints linéaires répétés chez les joueurs de hockey. De plus, cette durée de temps est représentative de près de huit présences au jeu au hockey sur glace. Et bien que le phénomène de la PAP soit d'une courte durée, l'effet neurologique de l'entraînement CT et la PAPe semble rester pour plusieurs heures à la suite de celui-ci. De ce fait, la fenêtre temporelle optimale avec nos résultats obtenus semble être huit heures avant la compétition. Ces améliorations constatées durant notre étude sont, en partie, explicables par une modification des facteurs musculaires (amélioration du taux de développement, production de la force RFD, augmentation de la contractilité du muscle, amélioration de la force musculaire, la teneur en eau musculaire et l'augmentation de la température musculaire), neurophysiologiques périphériques (vitesse de conduction des motoneurons alpha et excitabilité vertébrale) et centrales (activation du SNC, meilleure synchronisation et recrutement des unités motrices, meilleure coordination intra et intermusculaire). Ainsi, bien qu'il y ait eu des améliorations dans les deux groupes de notre étude, il semblerait intéressant pour les préparateurs physiques de prendre compte des différences apportées à la suite de l'entraînement CT huit ou quatre heures plus tard.

Il semblerait que l'entraînement CT huit heures avant serait la meilleure option pour obtenir le plein potentiel PAPE au niveau de la puissance et la force déployée (RFD) des athlètes entraînés. Par contre, l'entraînement CT quatre heures avant serait une option possible pour augmenter la PAPE lorsque les préparateurs physiques doivent planifier deux séances d'entraînement dans la même journée, puisqu'elle semble favoriser et augmenter la force musculaire locale du muscle entraîné plus tôt. Par ailleurs, bien que l'entraînement CT visant à augmenter la PAP a un effet neurologique sur plus de huit heures, et avec les hypothèses émises, cette intervention semble être efficace chez des joueurs de hockey élités pour améliorer leurs performances. Nous pouvons donc proposer qu'il soit bénéfique d'accentuer davantage dans la périodisation annuelle l'utilisation de la méthode d'entraînement CT la journée d'une compétition, afin d'améliorer la performance PAPE des joueurs de hockey. De plus, l'entraînement CT 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 PAPE. Des paramètres d'entraînements mal adaptés entraîneraient de la fatigue musculaire à la suite de nombreuses contractions demandées, et risqueraient de diminuer la performance des athlètes. Néanmoins, avec la méthode CT, les préparateurs physiques qui adoptent cette approche auront à mesurer et calculer de façon précise les paramètres afin d'optimiser le bilan, puisque les résultats positifs 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'utiliser cette méthode avec l'athlète durant une journée de pratique avant d'effectuer celle-ci lors d'une journée de compétition, puisque cette étude représente seulement qu'environ 30 % du nombre total de présences en moyenne qu'un joueur de la LNH ferait lors d'une partie. Il serait intéressant pour les futurs chercheurs d'étudier ce phénomène PAPE sur la durée totale d'une partie de hockey et d'analyser ses effets.

## APPENDICE A

## CONSENTEMENT

**FORMULAIRE DE CONSENTEMENT-MAJEUR**

**«L'EFFET D'UN ENTRAÎNEMENT DE STYLE CONTRASTE LE JOUR MÊME DE LA COMPÉTITION  
SUR LA PERFORMANCE PHYSIQUE CHEZ LES JOUEURS DE HOCKEY»**

**IDENTIFICATION**

Responsable du projet : Sébastien Lagrange

Programme d'enseignement : Doctorat en Biologie (physiologie de l'exercice)

Adresse courriel : [lagrange.sebastien@courrier.uqam.ca](mailto:lagrange.sebastien@courrier.uqam.ca)

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'une thèse de doctorat à 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](mailto:comtois.alain-steve@uqam.ca).

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 d'effectuer les pré-tests des tests physiques sur glace et hors-glace. Les tests physiques consistent en des mesures anthropométriques (poids, grandeurs et % gras avec les plis cutanés), de sauts en hauteur, sauts en longueur, drop jump, prise de préhension et à des sprints répétés sur glace (8x 23 secondes environs). De plus, nous recueillerons des données à l'aide d'électrode sans fil du système Naraxon. Cette technologie non invasive de surface installée sur les membres inférieurs, nous permet d'effectuer des évaluations des contractions musculaires durant les tests des sauts. 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. Lors de la deuxième journée (48 heures plus tard), le groupe sera divisée en deux et devra faire un entraînement en résistance de style contraste et refaire les tests physiques de la première journée du projet 8 ou 4 heures après l'entraînement. Le projet est d'une durée de 2 journées (durée 2-3 heures par jours) planifiées sur 1 semaine.

La collecte de données débutera au mois de Juin 2019 et vous serez avisé quelques semaines à l'avance avec les dates et heures précises du projet.

### **AVANTAGES ET RISQUES D'INCONFORT**

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. Les données recueillies seront gardées pour des publications d'articles scientifiques.

### **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 de style contraste :

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 plurifacultaire) 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 D'UN ENTRAÎNEMENT CONTRASTE LE JOUR MÊME DE LA COMPÉTITION SUR LA PERFORMANCE PHYSIQUE CHEZ LES JOUEURS DE HOCKEY
Nom de l'étudiant:	Sébastien LAGRANGE
Programme d'études:	Doctorat en biologie
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.



Raoul Graf  
Président du CERPE plurifacultaire  
Professeur, Département de marketing



## APPENDICE D

### ACTIVATION PRÉ-ENTRAÎNEMENT ET PRÉ-TEST (±15 MIN)

<i><b>Mouvements</b></i>	<i><b>Séries</b></i>	<i><b>Distance</b></i>	<i><b>temps</b></i>
<b><u>Préparation des tissus mous</u></b>	1		
Foam roller, lacrosse ball			120sec
<b><u>Échauffement général</u></b>	1		
Jogging léger			120sec
<b><u>Activation (neuromusculaire)</u></b>			
High Knees	2	20m	30sec
Heels to Butt	2	20m	30sec
Carioca	4	20m	60sec
Dynamic lunges with rotation	2	20m	30sec
Hip Rotations	4	20m	60sec
Lateral Lunges	4	20m	60sec
Backward lunges reach and twist	2	20m	30sec
Leg swings	2	20m	60sec
<b><u>Intégration des mouvements spécifique au Hockey</u></b>			
Mobilité articulation thoracique	1		60sec
<b><u>Activation du système nerveux</u></b>			
Sprints	6	20m	120sec
Front tuck (pliométrie)	1	6 répétitions	30 sec

Il est important de noter que les joueurs ont normalement déjà des routines 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.







## APPENDICE F

### 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

- Aagaard *et al.* (2010). Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, Vol.20, 39-47.
- Aagaard *et al.* (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93(4), 1318-1326.
- Aagaard *et al.* (2002). Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *Journal of Applied Physiology*, 92(6), 2309-2318.
- Aagaard *et al.* (2000). Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 89(6), 2249-2257.
- Adrian. (1956). The effect of internal and external potassium concentration on the membrane potential of frog muscle. *Journal Physiology*, 133(3), 631-658.
- Allard *et al.* (2020). In-Season Session Training Load Relative to Match Load in Professional Ice Hockey. *Journal Strength Conditioning Research*. doi: 10.1519/jsc.0000000000003490
- Allen *et al.* (1956). Prediction of total adiposity from skinfolds and the curvilinear relationship between external and internal adiposity. *Metabolism*, 5, 346-352.
- Alves *et al.* (2019). Postactivation Potentiation Improves Performance in a Resistance Training Session in Trained Men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2019 Sep 25. doi: 10.1519/JSC.0000000000003367.

- Andrews *et al.* (2011). Effect of hang cleans or squats paired with countermovement vertical jumps on vertical displacement. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(9), 2448-2452.
- Anthi *et al.* (2014). On the mechanisms of post-activation potentiation: the contribution of neural factors. *Journal of physical education and sport, Vol. 14(2)*, 134.
- Babault *et al.* (2006). Neuromuscular fatigue development during maximal concentric and isometric knee extensions. *Journal Apply Physiology*, 100(3), 780-785. doi: 10.1152/jappphysiol.00737.2005
- Baechle *et al.* (2000). *Essentials of Strength Training and Conditioning*. : Human Kinetics.
- Ball *et al.* (2004). Comparison of anthropometry to DXA: a new prediction equation for men. *European Journal of Clinical Nutrition*, 58(11), 1525.
- Ball *et al.* (2010). Bilateral contact ground reaction forces and contact times during plyometric drop jumping. *Journal Strength Conditioning Research*, 24(10), 2762-2769. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181cc2408
- Baranauskas *et al.* (2017). Seven-site versus three-site method of body composition using BodyMetrix ultrasound compared to dual-energy X-ray absorptiometry. *Clinical physiology and functional imaging*, 37(3), 317-321.
- Barker *et al.* (1993). Performance factors, psychological assessment, physical characteristics, and football playing ability. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 7(4), 224-233.
- Beato *et al.* (2019). Effect of Postactivation Potentiation After Medium vs. High Inertia Eccentric Overload Exercise on Standing Long Jump, Countermovement Jump, and Change of Direction Performance. *Journal of strength and conditioning research*, 2019 Jun 19. doi: 10.1519/JSC.0000000000003214. .
- Beattie *et al.* (2015). Establishing the reliability & meaningful change of the drop-jump reactive strength index. *Journal Australia Strength Conditioning*, 23(5), 12-18.

- Bechtel *et al.* (2018). Back squat potentiates both vertical and horizontal jump performance in collegiate ice hockey players. *International Journal of Kinesiology and Sports Science*, 6(1), 26-30.
- Beckham *et al.* (2013). Relationships of isometric mid-thigh pull variables to weightlifting performance. *Journal Sports Medical Physical Fitness*, 53(5), 573-581.
- Behm *et al.* (2004). Conflicting effects of fatigue and potentiation on voluntary force. *Journal Strength Conditioning Research*, 18(2), 365-372. doi: 10.1519/r-12982.1
- Behm *et al.* (2005). Relationship between hockey skating speed and selected performance measures. *Journal Strength Conditioning Research*, 19(2), 326-331. doi: 10.1519/r-14043.1
- Berning *et al.* (2010). Effect of functional isometric squats on vertical jump in trained and untrained men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(9), 2285-2289.
- Bevan *et al.* (2010). Influence of postactivation potentiation on sprinting performance in professional rugby players. *Journal Strength Conditioning Research*, 24(3), 701-705. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c7b68a
- Billaut *et al.* (2009). Muscle fatigue in males and females during multiple-sprint exercise. *Sports Medicine*, 39(4), 257-278. doi: 10.2165/00007256-200939040-00001
- Binkhorst *et al.* (1977). Temperature and force-velocity relationship of human muscles. *Journal of Applied Physiology*, 42(4), 471-475.
- Bishop *et al.* (2008). Recovery from training: a brief review: brief review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 1015-1024.
- Bishop *et al.* (2003). Predictors of repeated-sprint ability in elite female hockey players. *Journal Science Medicine Sport*, 6(2), 199-209.
- Blazevich *et al.* (2019). Post-activation Potentiation (PAP) versus Post-activation Performance Enhancement (PAPE) in Humans: Historical Perspective, Underlying Mechanisms, and Current Issues. *Frontiers in physiology*, Vol. 10, 1359.

- Bobbert *et al.* (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Medicine science sports exercise*, 28(11), 1402-1412.
- Bobbert *et al.* (1987). Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(4), 332-338.
- Bobbert *et al.* (1987). Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(4), 339-346.
- Bojsen-Møller *et al.* (2005). Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *Journal of Applied Physiology*, 99(3), 986-994.
- Bomfim Lima *et al.* (2011). Acute effects of drop jump potentiation protocol on sprint and countermovement vertical jump performance. *Human Movement*, 12(4), 324-330.
- Bompa *et al.* (2015). *Periodization Training for Sports, 3E.* : Human Kinetics Publishers, 368.
- Borba *et al.* (2017). Effect of post-activation potentiation in Athletics: a systematic review. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 19(1), 128-138.
- Borg. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine science sports exercise*, 14(5), 377-381.
- Borg. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales.* : Human kinetics, 120.
- Brazier *et al.* (2014). Lower extremity stiffness: Effects on performance and injury and implications for training. *Strength & Conditioning Journal*, 36(5), 103-112.
- Buchwald. (1967). Exteroceptive reflexes and movement. *Am Journal Physiology Medicine*, 46(1), 121-128.

- Burger. (1999). *Complex training compared to a combined weight training and plyometric training program*. University of Idaho, *Frontier Physiology* . 2019; 10: 1026. .
- Burke *et al.* (1976). The effect of activation history on tension production by individual muscle units. *Brain Research*, 109(3), 515-529.
- Burr *et al.* (2008). Relationship of physical fitness test results and hockey playing potential in elite-level ice hockey players. *Journal Strength & Conditioning Research*, 22(5), 1535-1543. doi: 10.1519/JSC.0b013e318181ac20
- Camara *et al.* (2016). An Examination of Muscle Activation and Power Characteristics While Performing the Deadlift Exercise With Straight and Hexagonal Barbells. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(5), 1183-1188. doi: 10.1519/jsc.0000000000001352
- Carey *et al.* (2007). Do hockey players need aerobic fitness? Relation between VO<sub>2</sub>max and fatigue during high-intensity intermittent ice skating. *Journal Strength & Conditioning Research*, 21(3), 963-966. doi: 10.1519/r-18881.1
- Carlock *et al.* (2004). The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: a field-test approach. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 534-539.
- Carter *et al.* (1984). 8. Skinfolds and Body Composition of Olympic Athletes. Dans *Physical Structure of Olympic Athletes* (Vol. 18, p. 144-182) : Karger Publishers.
- Chaouachi *et al.* (2011). Volume, intensity, and timing of muscle power potentiation are variable. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 36(5), 736-747.
- Chatzopoulos *et al.* (2007). Postactivation potentiation effects after heavy resistance exercise on running speed. *Journal Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1278-1281. doi: 10.1519/r-21276.1
- Chen *et al.* (2013). The acute effect of drop jump protocols with different volumes and recovery time on countermovement jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(1), 154-158.

- Chen *et al.* (2011). Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(6), 1546-1552.
- Chiarlitti *et al.* (2018). Importance of Body Composition in the National Hockey League Combine Physiological Assessments. *Journal Strength & Conditioning Research*, 32(11), 3135-3142. doi: 10.1519/jsc.0000000000002309
- Chiu *et al.* (2004). Neuromuscular fatigue and potentiation following two successive high intensity resistance exercise sessions. *European Journal of Applied Physiology*, 92(4-5), 385-392. doi: 10.1007/s00421-004-1144-z
- Chiu *et al.* (2003). Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. *Journal of strength and conditioning research*, 17(4), 671-677.
- Chiu *et al.* (2012). Potentiation of vertical jump performance during a snatch pull exercise session. *Journal of applied biomechanics*, 28(6), 627-635.
- Chmiel *et al.* (2016). Post Activation Potentiation of Back Squat and Trap Bar Deadlift on Acute Sprint Performance. *International Journal of Exercise Science: Conference Proceedings*, 9(4), 31.
- Chu. (1996). *Explosive power & strength: complex training for maximum results*. : Human Kinetics 1.
- Clark *et al.* (2006). The acute effects of a single set of contrast preloading on a loaded countermovement jump training session. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(1), 162-166.
- Clausen. (2003). Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> pump regulation and skeletal muscle contractility. *Physiol Revision*, 83(4), 1269-1324. doi: 10.1152/physrev.00011.2003
- Clausen *et al.* (1998). The Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup> pump and muscle excitability. *Acta physiologica Scandinavica*, 162(3), 183-190. doi: 10.1046/j.1365-201X.1998.0295e.x

- Comyns *et al.* (2010). Effect of squatting on sprinting performance and repeated exposure to complex training in male rugby players. *Journal of strength and conditioning research*, 24(3), 610-618. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c7c3fc
- Comyns *et al.* (2007). Identifying the optimal resistive load for complex training in male rugby players. *Sports Biomechanics*, 6(1), 59-70.
- Cook *et al.* (2012). The effects of different pre-game motivational interventions on athlete free hormonal state and subsequent performance in professional rugby union matches. *Physiol Behavior*, 106(5), 683-688. doi: 10.1016/j.physbeh.2012.05.009
- Cook *et al.* (2014). Morning based strength training improves afternoon physical performance in rugby union players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(3), 317-321. doi: 10.1016/j.jsams.2013.04.016
- Coutts *et al.* (2007). Monitoring changes in performance, physiology, biochemistry, and psychology during overreaching and recovery in triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 28(02), 125-134.
- Cox *et al.* (1995). Applied physiology of ice hockey. *Sports Medicine*, 19(3), 184-201.
- Coyle *et al.* (1979). Leg extension power and muscle fiber composition. *Medicine Science Sports*, 11(1), 12-15.
- Crewther *et al.* (2011). The acute potentiating effects of back squats on athlete performance. *Journal of strength and conditioning research*, 25(12), 3319-3325. doi: 10.1519/JSC.0b013e318215f560
- Cronin *et al.* (2017). A Brief Review of Handgrip Strength and Sport Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(11), 3187-3217. doi: 10.1519/jsc.0000000000002149
- Crum *et al.* (2012). The acute effects of moderately loaded concentric-only quarter squats on vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(4), 914-925.

- Cuenca-Fernández *et al.* (2017). Nonlocalized postactivation performance enhancement (PAPE) effects in trained athletes: a pilot study. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 42(10), 1122-1125.
- Dæhlin *et al.* (2017). Improvement of Ice Hockey Players' On-Ice Sprint With Combined Plyometric and Strength Training. *International Journal Sports Physiology Performance*, 12(7), 893-900. doi: 10.1123/ijsp.2016-0262
- Dæhlin *et al.* (2017). Improvement of Ice Hockey Players' On-Ice Sprint With Combined Plyometric and Strength Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(7), 893-900.
- Davies *et al.* (2015). Current concepts of plyometrics exercise. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(6), 760-786. PMC.
- de Villarreal *et al.* (2011). Enhancing jump performance after combined vs. maximal power, heavy-resistance, and plyometric training alone. *Journal of strength and conditioning research*, 25(12), 3274-3281. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182163085
- Dechechi *et al.* (2013). Post activation potentiation for lower limb with eccentric and concentric movements on sprinters. *International Journal Sports Science*, 3(1), 1-3.
- Delisle-Houde *et al.* (2018). Relationship Between Physiologic Tests, Body Composition Changes, and On-Ice Playing Time in Canadian Collegiate Hockey Players. *Journal of strength and conditioning research*, 32(5), 1297-1302. doi: 10.1519/jsc.0000000000002507
- Delisle-Houde *et al.* (2019). Predicting On-Ice Skating Using Laboratory- and Field-Based Assessments in College Ice Hockey Players. *International Journal Sports Physiology Performance*, 1184-1189. doi: 10.1123/ijsp.2018-0708
- Delisle-Houde *et al.* (2019). Seasonal Changes in Physiological Responses and Body Composition During a Competitive Season in Male and Female Elite Collegiate Ice Hockey Players. *Journal of strength and conditioning research*, 33(8), 2162-2169. doi: 10.1519/jsc.0000000000002338

- Delisle-Houde *et al.* (2019). Comparing DXA and Air Displacement Plethysmography to Assess Body Composition of Male Collegiate Hockey Players. *Journal of strength and conditioning research*, 33(2), 474-478. doi: 10.1519/jsc.0000000000001863
- DeLorme. (1945). Restoration of muscle power by heavy-resistance exercises. *Journal of Bone and Joint Surgery (American Volume)*, 27(4), 645-667.
- Dobbs *et al.* (2015). Relationship between vertical and horizontal jump variables and muscular performance in athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(3), 661-671.
- Dobbs *et al.* (2018). Effect of Postactivation Potentiation on Explosive Vertical Jump: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of strength and conditioning research*.
- Docherty *et al.* (2007). The application of postactivation potentiation to elite sport. *International Journal Sports Physiology Performance*, 2(4), 439-444.
- Docherty *et al.* (2004). Complex training revisited: A review of its current status as a viable training approach. *Strength & Conditioning Journal*, 26(6), 52.
- Donatelli. (2006). *Sports-Specific Rehabilitation-E-Book*. (1st Edition éd.) : Elsevier Health Sciences.
- Duchateau *et al.* (1984). Training effects on muscle fatigue in man. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 53(3), 248-252.
- Duchateau *et al.* (2003). Mechanisms of muscle and motor unit adaptation to explosive power training. *Strength and power in sport*, 315.
- Duchateau *et al.* (2008). Mechanisms of Muscle and Motor Unit Adaptation to Explosive Power Training. *Strength and power in sport*, 316-330. doi: 10.1002/9780470757215.ch16
- Duncan *et al.* (2014). Effect of heavy back squats on repeated sprint performance in trained men. *Journal Sports Medicine Physical Fitness*, 54(2), 238-243.

- Durnin *et al.* (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *British journal of nutrition*, 32(1), 77-97.
- E. *et al.* (2014). The effects of a postactivation potentiation warm-up on subsequent sprint performance. *Human Movement*, 15(1). doi: 10.2478/humo-2013-0050
- Ebben. (2002). Complex training: A brief review. *Journal of Sports Science & Medicine*, 1(2), 42.
- Ebben *et al.* (1997). Complex training with combined explosive weight training and plyometric exercises. *Olympic coach*, 7(4), 11-12.
- Ebben *et al.* (2000). Electromyographic and kinetic analysis of complex training variables. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(4), 451-456.
- Ebben *et al.* (1998). A review of combined weight training and plyometric training modes: Complex training. *Strength & Conditioning Journal*, 20(5), 18-27.
- Edholm *et al.* (2015). Half-time re-warm up increases performance capacity in male elite soccer players. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25(1), e40-e49.
- Edman *et al.* (2013). *Squats as a predictor of on-ice performance in ice hockey* (p. 13) : Sport and Fitness Sciences
- Edwards *et al.* (1977). Human skeletal muscle function: description of tests and normal values. *Clinical Science and Molecular Medicine*, 52(3), 283-290.
- Ekstrand *et al.* (2013). Assessing explosive power production using the backward overhead shot throw and the effects of morning resistance exercise on afternoon performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(1), 101-106.
- El Hage *et al.* (2011). Acute effects of heavy-load squats on consecutive vertical jump performance. *Science & sports*, 26(1), 44-47.

- Enoka. (1995). Morphological features and activation patterns of motor units. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 12(6), 538-559. doi: 10.1097/00004691-199511000-00002
- Esformes *et al.* (2010). Postactivation potentiation following different modes of exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(7), 1911-1916.
- Esformes *et al.* (2011). Effect of different types of conditioning contraction on upper body postactivation potentiation. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(1), 143-148. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181fef7f3
- Eston *et al.* (1995). Validity of conventional anthropometric techniques for predicting body composition in healthy Chinese adults. *British Journal of Sports Medicine*, 29(1), 52-56.
- Evetovich *et al.* (2015). Postactivation potentiation enhances upper-and lower-body athletic performance in collegiate male and female athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(2), 336-342.
- Farlinger *et al.* (2007). Relationships to skating performance in competitive hockey players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3), 915-922. doi: 10.1519/r-19155.1
- Farup *et al.* (2012). Muscle morphological and strength adaptations to endurance vs. resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(2), 398-407.
- Farup *et al.* (2010). Postactivation potentiation: upper body force development changes after maximal force intervention. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(7), 1874-1879. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181ddb19a
- Faude *et al.* (2013). High intensity interval training vs. high-volume running training during pre-season conditioning in high-level youth football: a cross-over trial. *Journal of Sports Sciences*, 31(13), 1441-1450.
- Faude *et al.* (2014). The effect of short-term interval training during the competitive season on physical fitness and signs of fatigue: A crossover trial in high-level youth football players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 936-944.

- Fernandez-Fernandez *et al.* (2015). The Effects of 8-Week Plyometric Training on Physical Performance in Young Tennis Players. *Pediatric Exercise Science, Pediatric exercise science*. doi: 10.1123/pes.2015-0019
- Fernandez-Santos *et al.* (2015). Reliability and Validity of Tests to Assess Lower-Body Muscular Power in Children. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(8), 2277-2285. doi: 10.1519/jsc.0000000000000864
- Fernandez-del-Olmo *et al.* (2013). Isometric knee extensor fatigue following a Wingate test: peripheral and central mechanisms. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 23(1), 57-65.
- Flanagan *et al.* (2008). Reliability of the reactive strength index and time to stabilization during depth jumps. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(5), 1677-1682.
- Folland *et al.* (2008). The influence of maximal isometric activity on twitch and H-reflex potentiation, and quadriceps femoris performance. *European Journal Apply Physiology*, 104(4), 739-748. doi: 10.1007/s00421-008-0823-6
- Folland *et al.* (2007). The adaptations to strength training : morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine*, 37(2), 145-168.
- French *et al.* (2003). Changes in dynamic exercise performance following a sequence of preconditioning isometric muscle actions. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(4), 678-685.
- Froese *et al.* (1985). Torque-velocity characteristics and muscle fiber type in human vastus lateralis. *Journal of Applied Physiology*, 59(2), 309-314.
- Fry. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Medicine*, 34(10), 663-679.
- Fukutani *et al.* (2014). Influence of the intensity of squat exercises on the subsequent jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(8), 2236-2243.

- Gamble. (2007). Challenges and game-related solutions to metabolic conditioning for team sports. *Strength and Conditioning Journal*, 29(4), 60.
- García-Pallarés *et al.* (2009). Endurance and neuromuscular changes in world-class level kayakers during a periodized training cycle. *European Journal of Applied Physiology*, 106(4), 629-638.
- Gathercole *et al.* (2015). Alternative countermovement-jump analysis to quantify acute neuromuscular fatigue. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1), 84-92.
- Geeves *et al.* (1999). Structural mechanism of muscle contraction. *Annual Review of Biochemistry*, 68, 687-728. doi: 10.1146/annurev.biochem.68.1.687
- Gerdle *et al.* (1988). Do the fibre-type proportion and the angular velocity influence the mean power frequency of the electromyogram? *Acta Physiologica*, 134(3), 341-346.
- Gilbert *et al.* (2005). Changes in the force development characteristics of muscle following repeated maximum force and power exercise. *Ergonomics*, 48(11-14), 1576-1584. doi: 10.1080/00140130500101163
- Gledhill *et al.* (2007). Detailed assessment protocols for NHL entry draft players. *York University, Toronto*.
- Gonzalez-Badillo *et al.* (2016). Short-term Recovery Following Resistance Exercise Leading or not to Failure. *International Journal of Sports Medicine*, 37(4), 295-304. doi: 10.1055/s-0035-1564254
- González-Badillo *et al.* (2016). Short-term recovery following resistance exercise leading or not to failure. *International Journal of Sports Medicine*, 37(04), 295-304.
- González-Alonso *et al.* (2000). Heat production in human skeletal muscle at the onset of intense dynamic exercise. *J Physiol*, 524(2), 603-615.

- Gourgoulis *et al.* (2003). Effect of a submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(2), 342-344.
- Gouvea *et al.* (2013). The effects of rest intervals on jumping performance: a meta-analysis on post-activation potentiation studies. *Journal of Sports Sciences*, 31(5), 459-467. doi: 10.1080/02640414.2012.738924
- Grange *et al.* (1993). Physiological significance of myosin phosphorylation in skeletal muscle. *Canadian Journal of applied physiology*, 18(3), 229-242.
- Green *et al.* (2012). Muscle cellular properties in the ice hockey player: a model for investigating overtraining? *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 90(5), 567-578. doi: 10.1139/y2012-017
- Green *et al.* (1976). Time-motion and physiological assessments of ice hockey performance. *Journal of Applied Physiology*, 40(2), 159-163.
- Green *et al.* (1975). Effect of a season of ice hockey on energy capacities and associated functions. *Medicine Science Sports*, 7(4), 299-303.
- Green *et al.* (1999). Downregulation of Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-ATPase pumps in skeletal muscle with training in normobaric hypoxia. *Journal of Applied Physiology*, 86(5), 1745-1748.
- Gruber *et al.* (2007). Training-specific adaptations of H-and stretch reflexes in human soleus muscle. *Journal of motor behavior*, 39(1), 68-78.
- Guérin. (2011). Conception et évaluation d'un élément de mesure de hauteur de saut vertical. *Maîtrise Université du Québec à Chicoutimi*, 2011, 234.
- Gullett *et al.* (2009). A biomechanical comparison of back and front squats in healthy trained individuals. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(1), 284-292.
- Güllich *et al.* (1996). MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New Studies in Athletics*, 11, 67-84.

- Hakkinen *et al.* (1998). Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *Journal of Applied Physiology*, *84*(4), 1341-1349.
- Häkkinen *et al.* (2001). Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta physiologica Scandinavica*, *171*(1), 51-62.
- Häkkinen *et al.* (2001). Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormones during strength training in older women. *Journal of Applied Physiology*, *91*(2), 569-580.
- Halson *et al.* (2004). Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Medicine*, *34*(14), 967-981. doi: 10.2165/00007256-200434140-00003
- Hamada *et al.* (2000). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *Journal of Applied Physiology*, *88*(6), 2131-2137.
- Hamada *et al.* (2003). Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. *Acta Physiologica*, *178*(2), 165-173.
- Hammami *et al.* (2018). The efficacy, and characteristics, of warm-up and re-warm-up practices in soccer players: a systematic review. *Journal Sports Medicine Physical Fitness*, *58*(1-2), 135-149.
- Hanson *et al.* (2007). Acute effects of heavy-and light-load squat exercise on the kinetic measures of vertical jumping. *Journal of strength and conditioning research*, *21*(4), 1012.
- Harman *et al.* (1990). The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Medicine science sports exercise*, *22*(6), 825-833.
- Harrison. (2011). Postactivation potentiation: predictors in NCAA Division II varsity track and field power athletes. *WWU Masters Thesis Collection. Paper 130.*

- Hatfield. (1989). *Power: a Scientific Approach: Advanced Musclebuilding Techniques for Explosive Strength and Peak Performance!* (Vol. McGraw-Hill; 1st edition (April 1, 1989)) : Contemporary Books.
- Hatze. (1998). Validity and reliability of methods for testing vertical jumping performance. *Journal of applied biomechanics*, 14(2), 127-140.
- Haukali *et al.* (2015). Correlation between “off-ice” variables and skating performance among young male ice hockey players. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 27(1), 26-32.
- Hay. (1985). The biomechanics of the long jump. *Exercise and sport sciences reviews*, 14, 401-446.
- Healy *et al.* (2017). The application of postactivation potentiation methods to improve sprint speed. *Strength & Conditioning Journal*, 39(1), 1-9.
- Heckman *et al.* (2012). Motor unit. *Comprehensive physiology*, 2(4), 2629-2682.
- Hecksteden *et al.* (2018). How to construct, conduct and analyze an exercise training study? *Frontiers in physiology*, 9, 1007.
- Henneman. (1985). The size-principle: a deterministic output emerges from a set of probabilistic connections. *Journal of Experimental Biology*, 115(1), 105-112.
- Hilfiker *et al.* (2007). Effects of drop jumps added to the warm-up of elite sport athletes with a high capacity for explosive force development. *Journal Strength Conditioning Research*, 21(2), 550-555. doi: 10.1519/r-20215.1
- Hirayama. (2014). Acute effects of an ascending intensity squat protocol on vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(5), 1284-1288.
- Hodgson *et al.* (2005). Post-activation potentiation: underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Medicine*, 35(7), 585-595.

- Hodgson *et al.* (2008). Postactivation potentiation of force is independent of h-reflex excitability. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(2), 219-231.
- Hoff *et al.* (2005). Strength and endurance differences between elite and junior elite ice hockey players. The importance of allometric scaling. *International Journal of Sports Medicine*, 26(07), 537-541.
- Holloszy *et al.* (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 56(4), 831-838.
- Hrysomallis *et al.* (2001). Effect of heavy dynamic resistive exercise on acute upper-body power. *Journal of strength and conditioning research*, 15(4), 426-430.
- Iglesias-Soler *et al.* (2011). Effect of intensity and duration of conditioning protocol on post-activation potentiation and changes in H-reflex. *European Journal of Sport Science*, 11(1), 33-38. doi: 10.1080/17461391003770517
- Iguchi *et al.* (2011). Physical and performance characteristics of Japanese division 1 collegiate football players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(12), 3368-3377.
- Jackson *et al.* (1978). Generalized equations for predicting body density of men. *British journal of nutrition*, 40(3), 497-504.
- Janot *et al.* (2015). Multiple Off-Ice Performance Variables Predict On-Ice Skating Performance in Male and Female Division III Ice Hockey Players. *Journal Sports Science Medicine*, 14(3), 522-529.
- Jensen *et al.* (2003). Kinetic analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance. *Journal Strength Conditioning Research*, 17(2), 345-349.
- Johnston *et al.* (2013). Physiological responses to an intensified period of rugby league competition. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(3), 643-654.

- Kajiyama. (1992). Shape of the myosin head. *International Journal Biochemistry*, 24(11), 1679-1689.
- Karampatsos *et al.* (2013). Acute effects of jumping and sprinting on hammer throwing performance. *Journal of physical education and sport*, 13(1), 3.
- Kay *et al.* (2009). Isometric contractions reduce plantar flexor moment, Achilles tendon stiffness, and neuromuscular activity but remove the subsequent effects of stretch. *Journal of Applied Physiology*, 107(4), 1181-1189.
- Kay *et al.* (2000). Different neuromuscular recruitment patterns during eccentric, concentric and isometric contractions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10(6), 425-431.
- Kent-Braun. (1999). Central and peripheral contributions to muscle fatigue in humans during sustained maximal effort. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80(1), 57-63.
- Kilduff *et al.* (2013). Preconditioning strategies to enhance physical performance on the day of competition. *International Journal Sports Physiol Performance*, 8(6), 677-681.
- Kilduff *et al.* (2008). Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players. *Journal of Sports Sciences*, 26(8), 795-802. doi: 10.1080/02640410701784517
- Klavora. (2000). Vertical-jump tests: a critical review. *Strength & Conditioning Journal*, 22(5), 70.
- Knight *et al.* (2001). Adaptations in muscular activation of the knee extensor muscles with strength training in young and older adults. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 11(6), 405-412.
- Koch *et al.* (2003). Effect of warm-up on the standing broad jump in trained and untrained men and women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(4), 710-714.

- Kubo *et al.* (2002). Effects of transient muscle contractions and stretching on the tendon structures in vivo. *Acta physiologica Scandinavica*, 175(2), 157-164.
- Kubo *et al.* (2005). Influences of repetitive drop jump and isometric leg press exercises on tendon properties in knee extensors. *Journal of strength and conditioning research*, 19(4), 864.
- Kubo *et al.* (2001). Influences of repetitive muscle contractions with different modes on tendon elasticity in vivo. *Journal of Applied Physiology*, 91(1), 277-282.
- Kubo *et al.* (1999). Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 87(6), 2090-2096.
- Kümmel *et al.* (2016). Effects of conditioning hops on drop jump and sprint performance: a randomized crossover pilot study in elite athletes. *BMC sports science, medicine and rehabilitation*, 8(1), 1.
- Kuu *et al.* (2005). Age-related changes in contractile properties of plantar flexor muscles in physically active woman. *Kinesiology*, 37(2).
- Lagrange (2018). *L'effet de la potentialisation sur la performance physique chez les joueurs de hockey*. UQAM. Maîtrise.
- Lagrange *et al.* (2020). Contrast Training Generates Post-Activation Potentiation and Improves Repeated Sprint Ability in Elite Ice Hockey Players. *International Journal of Exercise Science*, 13(6), 183-196.
- Lees *et al.* (2004). Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. *Journal of Biomechanics*, 37(12), 1929-1940. doi: 10.1016/j.jbiomech.2004.02.021
- Leger *et al.* (1979). Comparisons among VO<sub>2</sub> max values for hockey players and runners. *Journal canadien des Sciences Appliquées au Sport*, 4(1), 18-21.

- Lesinski *et al.* (2013). [Acute effects of postactivation potentiation on strength and speed performance in athletes]. *Sportverletz Sportschaden*, 27(3), 147-155. doi: 10.1055/s-0033-1335414
- Lesinski *et al.* (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
- LeSuer *et al.* (1997). The accuracy of prediction equations for estimating 1-RM performance in the bench press, squat, and deadlift. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 11(4), 211-213.
- Lignell *et al.* (2018). Analysis of High-Intensity Skating in Top-Class Ice Hockey Match-Play in Relation to Training Status and Muscle Damage. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(5), 1303-1310.
- Lim *et al.* (2013). The application of postactivation potentiation on sprint performance. *The Journal of Australian Strength and Conditioning*, 21(1), 61-66.
- Lima *et al.* (2014). Postactivation potentiation biases maximal isometric strength assessment. *BioMed research international*, 2014.
- Linder *et al.* (2010). Effects of preload 4 repetition maximum on 100-m sprint times in collegiate women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(5), 1184-1190.
- Linthorne. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198-1204.
- Lockie *et al.* (2013). Influence of sprint acceleration stance kinetics on velocity and step kinematics in field sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(9), 2494-2503.
- Lowery *et al.* (2012). The effects of potentiating stimuli intensity under varying rest periods on vertical jump performance and power. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(12), 3320-3325.

- MacDougall *et al.* (1977). Muscle glycogen repletion after high-intensity intermittent exercise. *Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 42(2), 129-132.
- MacIntosh *et al.* (2012). Skeletal muscle fatigue--regulation of excitation-contraction coupling to avoid metabolic catastrophe. *The Journal of Cell Science*, 125(Pt 9), 2105-2114. doi: 10.1242/jcs.093674
- MacIntosh *et al.* (2012). Should postactivation potentiation be the goal of your warm-up? *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37(3), 546-550.
- MacLean. (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.*
- Maio Alves *et al.* (2010). Short-term effects of complex and contrast training in soccer players' vertical jump, sprint, and agility abilities. *Journal of strength and conditioning research*, 24(4), 936-941. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c7c5fd
- Maloney *et al.* (2014). Ballistic exercise as a pre-activation stimulus: a review of the literature and practical applications. *Sports Medicine*, 44(10), 1347-1359.
- Mangus *et al.* (2006). Investigation of vertical jump performance after completing heavy squat exercises. *Journal of strength and conditioning research*, 20(3), 597.
- Manning *et al.* (1982). Myosin light chain phosphorylation-dephosphorylation in mammalian skeletal muscle. *American Journal of Physiology*, 242(3), C234-241. doi: 10.1152/ajpcell.1982.242.3.C234
- Markovic. (2007). Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *British Journal of Sports Medicine*, 41(6), 349-355. doi: 10.1136/bjism.2007.035113

- Marshall *et al.* (2014). Biomechanical factors associated with time to complete a change of direction cutting maneuver. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(10), 2845-2851.
- Martinez. (2016). The use of Reactive Strength Index, Reactive Strength Index Modified, and flight time: contraction time as monitoring tools. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 24, 37-41.
- Mascaro *et al.* (1992). Prediction of skating speed with off-ice testing in professional hockey players. *The Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 15(2), 92-98. doi: 10.2519/jospt.1992.15.2.92
- Mascaro *et al.* (1992). Prediction of skating speed with off-ice testing in professional hockey players. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 15(2), 92-98.
- Masiulis *et al.* (2007). Post-activation potentiation and fatigue of quadriceps muscle after continuous isometric contractions at maximal and submaximal intensities. *Sports Physiology*, 4(67), 56-63.
- Matthews *et al.* (2010). Complex training in ice hockey: the effects of a heavy resisted sprint on subsequent ice-hockey sprint performance. *Journal of strength and conditioning research*, 24(11), 2883-2887. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e7253c
- Matthews *et al.* (2004). The acute effects of a resistance training warmup on sprint performance. *Research in Sports Medicine*, 12(2), 151-159.
- McBride *et al.* (2005). The acute effects of heavy-load squats and loaded countermovement jumps on sprint performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(4), 893-897. doi: 10.1519/r-16304.1
- McClymont. (2003). Use of the reactive strength index (RSI) as an indicator of plyometric training conditions. *Science and Football V: The proceedings of the fifth World Congress on Sports Science and Football, Lisbon, Portugal*, 408-416.
- McGuigan *et al.* (2006). Eccentric utilization ratio: effect of sport and phase of training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(4), 992-995.

- McKenna *et al.* (2006). N-acetylcysteine attenuates the decline in muscle Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>-pump activity and delays fatigue during prolonged exercise in humans. *J Physiol*, 576(Pt 1), 279-288. doi: 10.1113/jphysiol.2006.115352
- McKenna *et al.* (1993). Sprint training increases human skeletal muscle Na<sup>(+)</sup>-K<sup>(+)</sup>-ATPase concentration and improves K<sup>+</sup> regulation. *The Journal of Applied Physiology*, 75(1), 173-180.
- McLeod *et al.* (1983). Performance measurement and percent body fat in the high school athlete. *The American journal of sports medicine*, 11(6), 390-397. doi: 10.1177/036354658301100603
- Mclester *et al.* (2003). A series of studies---a practical protocol for testing muscular endurance recovery. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(2), 259-273.
- Metzger *et al.* (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 *et al.* (2011). Enhancement of jump performance after a 5-RM squat is associated with postactivation potentiation. *European Journal of Applied Physiology*, 111(8), 1957-1963. doi: 10.1007/s00421-010-1823-x
- Mohar *et al.* (2018). The Importance of Post-Activation Potentiation (PAP) Training on Physical Fitness Preparation for Malaysian Female Hockey Players. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3.7), 293-298.
- Mohr *et al.* (2004). Muscle temperature and sprint performance during soccer matches--beneficial effect of re-warm-up at half-time. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 14(3), 156-162.
- Moir *et al.* (2011). The acute effects of manipulating volume and load of back squats on countermovement vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(6), 1486-1491.

- Mola *et al.* (2014). Optimal recovery time for postactivation potentiation in professional soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(6), 1529-1537. doi: 10.1519/jsc.0000000000000313
- Montgomery. (1988). Physiology of ice hockey. *Sports Medicine*, 5(2), 99-126.
- Montgomery. (2006). Physiological profile of professional hockey players - a longitudinal comparison. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 31(3), 181-185. doi: 10.1139/h06-012
- Moore *et al.* (1984). Myosin light chain phosphorylation in fast and slow skeletal muscles in situ. *American Journal of Physiology*, 247(5 Pt 1), C462-471. doi: 10.1152/ajpcell.1984.247.5.C462
- Morin *et al.* (2011). Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1680-1688.
- Moritani *et al.* (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine*, 58(3), 115-130.
- Mujika *et al.* (2000). Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I: short term insufficient training stimulus. *Sports Medicine*, 30(2), 79-87. doi: 10.2165/00007256-200030020-00002
- Mujika *et al.* (2000). Detraining: Loss of Training-Induced Physiological and Performance Adaptations. Part II. *Sports Medicine*, 30(3), 145-154. doi: 10.2165/00007256-200030030-00001
- Murach *et al.* (2015). Less is more: the physiological basis for tapering in endurance, strength, and power athletes. *Sports*, 3(3), 209-218.
- Newton *et al.* (2002). Application of Strength Diagnosis. *Strength & Conditioning Journal*, 24(5), 50-59.
- Nibali *et al.* (2015). Considerations for determining the time course of post-activation potentiation. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(11), 1163-1170.

- Nicol *et al.* (2006). The stretch-shortening cycle. *Sports Medicine*, 36(11), 977-999.
- Nuzzo *et al.* (2016). Acute strength training increases responses to stimulation of corticospinal axons. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(1), 139-150.
- O'Donnell *et al.* (2018). The validity and reliability of the GymAware linear position transducer for measuring counter-movement jump performance in female athletes. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 22(1), 101-107.
- Oliver. (2009). Is a fatigue index a worthwhile measure of repeated sprint ability? *The Journal of Science and Medicine in Sport* 12(1), 20-23. doi: 10.1016/j.jsams.2007.10.010
- Paavolainen *et al.* (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology*, 86(5), 1527-1533.
- Palmieri *et al.* (2004). The hoffmann reflex: methodologic considerations and applications for use in sports medicine and athletic training research. *Journal of athletic training*, 39(3), 268-277.
- Patterson *et al.* (2010). A method for monitoring reactive strength index. *Procedia Engineering*, 2(2), 3115-3120.
- Peterson. (2014). *Repeated Sprint Ability: The influence of aerobic capacity on energy pathway response and fatigue of hockey players*. Thesis. University of Minnesota.
- Peterson *et al.* (2016). Off-ice anaerobic power does not predict on-ice repeated shift performance in hockey. *Journal of strength and conditioning research*, 30(9), 2375-2381.
- Peterson *et al.* (2015). Aerobic capacity is associated with improved repeated shift performance in hockey. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(6), 1465-1472.

- Peterson *et al.* (2015). Division I hockey players generate more power than division III players during on-and off-ice performance tests. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(5), 1191-1196.
- Peyer *et al.* (2010). Fitness Characteristics of NCAA Division I Ice Hockey Players and Their Relation to Game Performance: 1092 June 5 10: 30 AM-10: 45 AM. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(5), 158.
- Piacentini *et al.* (2013). Concurrent strength and endurance training effects on running economy in master endurance runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(8), 2295-2303.
- Potteiger *et al.* (2010). Relationship between body composition, leg strength, anaerobic power, and on-ice skating performance in division I men's hockey athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 24(7), 1755-1762. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e06cfb
- Prokop *et al.* (2016). Seasonal Changes in Whole Body and Regional Body Composition Profiles of Elite Collegiate Ice-Hockey Players. *Journal of strength and conditioning research*, 30(3), 684-692. doi: 10.1519/jsc.0000000000001133
- Pueo *et al.* (2018). Concurrent validity and reliability of proprietary and open-source jump mat systems for the assessment of vertical jumps in sport sciences. *Acta Bioeng Biomech*, 20(4), 51-57.
- Purves *et al.* (2005). *Neurosciences: Avec CD-Rom Sylvius*. : De Boeck Supérieur, 3e édition
- Quinney *et al.* (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
- Raastad *et al.* (2000). Recovery of skeletal muscle contractility after high-and moderate-intensity strength exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 82(3), 206-214.
- Rassier *et al.* (2000). Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 33(5), 499-508.

- Renaud *et al.* (1992). Effects of K<sup>+</sup> on the twitch and tetanic contraction in the sartorius muscle of the frog, *Rana pipiens*. Implication for fatigue in vivo. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 70(9), 1236-1246.
- Rixon *et al.* (2007). Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance. *Journal of strength and conditioning research*, 21(2), 500-505. doi: 10.1519/r-18855.1
- Robbins. (2005). Postactivation potentiation and its practical applicability: a brief review. *Journal of strength and conditioning research*, 19(2), 453-458. doi: 10.1519/r-14653.1
- Robineau *et al.* (2016). Specific training effects of concurrent aerobic and strength exercises depend on recovery duration. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(3), 672-683.
- Roczniok *et al.* (2016). Physiological, physical and on-ice performance criteria for selection of elite ice hockey teams. *Biology of Sport*, 33(1), 43-48. doi: 10.5604/20831862.1180175
- Roman. (1974). The training of Bulgarian weightlifters. *Soviet sport review*, 1, 41-42.
- Rosenbaum *et al.* (1995). The influence of stretching and warm-up exercises on Achilles tendon reflex activity. *Journal of Sports Sciences*, 13(6), 481-490.
- Ruben *et al.* (2010). The acute effects of an ascending squat protocol on performance during horizontal plyometric jumps. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(2), 358-369.
- Runner *et al.* (2016). Predictors of speed using off-ice measures of college hockey players. *Journal of strength and conditioning research*, 30(6), 1626-1632.
- Russell *et al.* (2015). Half-time strategies to enhance second-half performance in team-sports players: a review and recommendations. *Sports Medicine*, 45(3), 353-364.

- Saint-Maurice *et al.* (2015). Establishing Normative Reference Values for Handgrip Among Hungarian Youth. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 86 Suppl 1, S29-36. doi: 10.1080/02701367.2015.1042354
- Sale. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(5 Suppl), S135-145.
- Sale (2002). Postactivation potentiation: role in human performance. *Exercise and sport sciences reviews*, 30(3), 138-143.
- Sale (2004). Postactivation potentiation: role in performance. *British Journal of Sports Medicine*, 38(4), 386-387. doi: 10.1136/bjism.2002.003392 PMC.
- Sale. (2008). Neural Adaptation to Strength Training. Dans *Strength and power in sport* (p. 281-314) : Blackwell Science Ltd.
- Samuel *et al.* (2008). Acute effects of static and ballistic stretching on measures of strength and power. *Journal Strength Conditioning Research*, 22(5), 1422-1428. doi: 10.1519/JSC.0b013e318181a314
- Santos *et al.* (2008). Effects of complex training on explosive strength in adolescent male basketball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 903-909.
- Sargeant *et al.* (1987). Effect of prior exercise on maximal short-term power output in humans. *The Journal of Applied Physiology*, 63(4), 1475-1480. doi: 10.1152/jappl.1987.63.4.1475
- Sayers *et al.* (1999). Cross-validation of three jump power equations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(4), 572-577.
- Schmarzo Max *et al.* (2017). ebook. Isometrics for performance.
- Schoenfeld *et al.* (2017). Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low- vs. High-Load Resistance Training: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal Strength Conditioning Research*, 31(12), 3508-3523. doi: 10.1519/jsc.0000000000002200

- Scott *et al.* (2004). Acute effects of heavy preloading on vertical and horizontal jump performance. *Journal of strength and conditioning research*, 18(2), 201-205. doi: 10.1519/r-13123.1
- Seitz *et al.* (2014). The temporal profile of postactivation potentiation is related to strength level. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(3), 706-715.
- Seitz *et al.* (2016). Factors Modulating Post-Activation Potentiation of Jump, Sprint, Throw, and Upper-Body Ballistic Performances: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 46(2), 231-240. doi: 10.1007/s40279-015-0415-7
- Seitz *et al.* (2016). Postactivation potentiation of horizontal jump performance across multiple sets of a contrast protocol. *Journal of strength and conditioning research*, 30(10), 2733-2740.
- Senefeld *et al.* (2018). Sex differences in mechanisms of recovery after isometric and dynamic fatiguing tasks. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(5), 1070.
- Setruk *et al.* (1995). Perception subjective de la fatigue musculaire: utilisation de l'échelle de Borg. *Science & sports*, 10(4), 209-210.
- Simic *et al.* (2013). Does pre-exercise static stretching inhibit maximal muscular performance? A meta-analytical review. *The Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(2), 131-148. doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01444.x
- Sloan *et al.* (1972). A comparison of skinfold measurements with three standard calipers. *Human Biology*, 29-36.
- Smith *et al.* (2007). Effects of a ten-second maximum voluntary contraction on regulatory myosin light-chain phosphorylation and dynamic performance measures. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 73-76. doi: 10.1519/r-19485.1
- Smith *et al.* (2001). The effects of high-intensity exercise on a 10-second sprint cycle test. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(3), 344-348.

- Spencer *et al.* (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities. *Sports Medicine*, 35(12), 1025-1044.
- Spiteri *et al.* (2015). Mechanical determinants of faster change of direction and agility performance in female basketball athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(8), 2205-2214.
- Stanula *et al.* (2014). Game intensity analysis of elite adolescent ice hockey players. *The Journal of Human Kinetics*, 44, 211-221. doi: 10.2478/hukin-2014-0126
- Stanula *et al.* (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.
- Staron *et al.* (2000). Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, 48(5), 623-629.
- Staron *et al.* (1993). Myosin polymorphism and differential expression in adult human skeletal muscle. *Comparative Biochemistry and Physiology B*, 106(3), 463-475.
- Stone *et al.* (2002). How much strength is necessary? *Physical Therapy in Sport* 3(2), 88-96.
- Stone *et al.* (2008). Power and power potentiation among strength-power athletes: preliminary study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(1), 55-67.
- Suchomel *et al.* (2016). Understanding Vertical Jump Potentiation: A Deterministic Model. *Sports Medicine*, 46(6), 809-828. doi: 10.1007/s40279-015-0466-9
- Suchomel *et al.* (2016). The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Medicine*, 46(10), 1419-1449. doi: 10.1007/s40279-016-0486-0
- Suchomel *et al.* (2016). Potentiation Effects of Half-Squats Performed in a Ballistic or Nonballistic Manner. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1652-1660. doi: 10.1519/jsc.0000000000001251

- Suchomel *et al.* (2016). Potentiation Following Ballistic and Nonballistic Complexes: The Effect of Strength Level. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), 1825-1833. doi: 10.1519/jsc.0000000000001288
- Suchomel *et al.* (2016). Comparison of methods that assess lower-body stretch-shortening cycle utilization. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(2), 547-554.
- Suter *et al.* (1993). Muscle fiber type distribution as estimated by Cybex testing and by muscle biopsy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(3), 363-370.
- Takahashi *et al.* (1994). Changes in magnetic resonance images in human skeletal muscle after eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 69(5), 408-413.
- Talbert *et al.* (2009). Comparison of Body Composition Measurements Using a New Caliper, Two Established Calipers, Hydrostatic Weighing, and BodPod. *International Journal of Exercise Science*, 2(1), 19-27. PMC.
- Taniguchi *et al.* (2020). Acute effect of multiple sets of fatiguing resistance exercise on muscle thickness, echo intensity, and extracellular-to-intracellular water ratio. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 45(2), 213-219.
- Taylor *et al.* (2012). Fatigue monitoring in high performance sport: a survey of current trends. *The Journal of Australian Strength and Conditioning*, 20(1), 12-23.
- Terzis *et al.* (2012). Acute effects of countermovement jumping and sprinting on shot put performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(3), 684-690.
- Terzis *et al.* (2009). Acute effect of drop jumping on throwing performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(9), 2592-2597. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b1b1a3
- Terzis *et al.* (2009). Acute effect of drop jumping on throwing performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(9), 2592-2597.

- Tesch *et al.* (1983). Recovery from short term intense exercise: its relation to capillary supply and blood lactate concentration. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 52(1), 98-103.
- Tessier *et al.* (2013). Lower-limb power cannot be estimated accurately from vertical jump tests. *J Hum Kinet*, 38, 5-13.
- Thebault *et al.* (2011). Repeated-sprint ability and aerobic fitness. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(10), 2857-2865. doi: 10.1519/JSC.0b013e318207ef37
- Tillin *et al.* (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Medicine*, 39(2), 147-166. doi: 10.2165/00007256-200939020-00004
- Tobin *et al.* (2014). The acute effect of a plyometric stimulus on jump performance in professional rugby players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(2), 367-372.
- Trimble *et al.* (1998). Postexercise potentiation of the H-reflex in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(6), 933-941.
- Tsimachidis *et al.* (2013). The post-activation potentiation effect on sprint performance after combined resistance/sprint training in junior basketball players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 31(10), 1117-1124. doi: 10.1080/02640414.2013.771817
- Tsolakis *et al.* (2012). Acute Effects of Two Different Warm-Up Protocols on Flexibility and Lower Limb Explosive Performance in Male and Female High Level Athletes. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11(4), 669-675.
- Tsoukos *et al.* (2018). Delayed Effects of a Low-Volume, Power-Type Resistance Exercise Session on Explosive Performance. *Journal of strength and conditioning research*, 32(3), 643-650. doi: 10.1519/jsc.0000000000001812
- Turner *et al.* (2017). *Advanced Strength and Conditioning: An Evidence-based Approach*. : Routledge.

- Twist *et al.* (2013). Monitoring fatigue and recovery in rugby league players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(5), 467-474.
- Vandenboom *et al.* (1993). Threshold for force potentiation associated with skeletal myosin phosphorylation. *American Journal of Physiology*, 265(6 Pt 1), C1456-1462. doi: 10.1152/ajpcell.1993.265.6.C1456
- Vandenboom *et al.* (1995). Myosin phosphorylation enhances rate of force development in fast-twitch skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 268(3), C596-C603.
- Verkhoshansky (1966). Perspectives in the improvement of speed-strength preparation for sprinters. *Track Field*, 17(9), 11-12.
- Verkhoshansky *et al.* (2009). *Supertraining*. (Vol. 6, illustrated). Verkhoshansky, 2009 : Verkhoshansky.
- Verkhoshansky *et al.* (1973). Speed-strength preparation of future champions. *Legkaya Atleika*, 2, 12-13.
- Verkhoshansky *et al.* (2011). *Special strength training: manual for coaches*. : Lightning Source Inc
- Vescovi *et al.* (2006). Off-ice performance and draft status of elite ice hockey players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(3), 207.
- Wadhi *et al.* (2018). Validity and Reliability of the GymAware Linear Position Transducer for Squat Jump and Counter-Movement Jump Height. *Sports (Basel)*, 6(4). doi: 10.3390/sports6040177
- Waldron *et al.* (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.

- Walia *et al.* (1992). Reliability of skinfold calipers as a tool for measuring body fat in human beings. *Indian Journal of Medical Research*, 96, 255-257.
- Wallace *et al.* (2008). A comparison between back squat exercise and vertical jump kinematics: implications for determining anterior cruciate ligament injury risk. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(4), 1249-1258. doi: 10.1519/JSC.0b013e31816d66a4
- Walsh *et al.* (2004). The effect of drop jump starting height and contact time on power, work performed, and moment of force. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 561-566. doi: 10.1519/1533-4287(2004)18<561:teodjs>2.0.co;2
- Wang *et al.* (2000). Anthropometry in body composition. An overview. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 904, 317-326.
- Weyand *et al.* (2010). The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *Journal of Applied Physiology*, 108(4), 950-961.
- Weyand *et al.* (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of Applied Physiology*, 89(5), 1991-1999.
- Wilson *et al.* (2013). Meta-analysis of postactivation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *Journal of strength and conditioning research*, 27(3), 854-859. doi: 10.1519/JSC.0b013e31825c2bdb
- Wilson *et al.* (2008). The role of elastic energy in activities with high force and power requirements: a brief review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(5), 1705-1715.
- Wilson *et al.* (1995). Assessing dynamic performance: A comparison of rate of force development tests. *Journal Strength Conditioning Research*, 9(3), 176-181.
- Wilson *et al.* (1996). The specificity of strength training: the effect of posture. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 73(3-4), 346-352.

- Wind *et al.* (2010). Is grip strength a predictor for total muscle strength in healthy children, adolescents, and young adults? *European Journal of Pediatrics*, 169(3), 281-287. doi: 10.1007/s00431-009-1010-4
- Wisløff *et al.* (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 38(3), 285-288.
- Witmer *et al.* (2010). The acute effects of back squats on vertical jump performance in men and women. *Journal of Sports Science & Medicine*, 9(2), 206.
- Wong. (2016). *Valeurs de référence pour la force de préhension des Canadiens de 6 à 79 ans: enquête canadienne sur les mesures de la santé, 2007 à 2013.* : Statistique Canada.
- Woolstenhulme *et al.* (2004). Vertical Jump, Anaerobic Power, and Shooting Accuracy Are Not Altered 6 Hours After Strength Training in Collegiate Women Basketball Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 422-425.
- Wust *et al.* (2008). Sex differences in contractile properties and fatigue resistance of human skeletal muscle. *Experimental Physiology*, 93(7), 843-850. doi: 10.1113/expphysiol.2007.041764
- Young. (1993). RESISTANCE TRAINING: Training for Speed/Strength Heavy vs. Light Loads. *Strength & Conditioning Journal*, 15(5), 34-43.
- Young. (1995). Laboratory strength assessment of athletes. *New Studies in Athletics*, 10, 89-89.
- Young *et al.* (1998). Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 12(2), 82-84.
- Zatsiorsky *et al.* (2006). *Science and practice of strength training.* : Human Kinetics.
- Zehr. (2002). Considerations for use of the Hoffmann reflex in exercise studies. *The European Journal of Applied Physiology* 86(6), 455-468. doi: 10.1007/s00421-002-0577-5

Zourdos *et al.* (2016). Novel resistance training–specific rating of perceived exertion scale measuring repetitions in reserve. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(1), 267-275.

Zwiren *et al.* (1973). Use of body density and various skinfold equations for estimating small reductions in body fatness. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 13(4), 213.