

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

**LES EFFETS DE L'ENTRAÎNEMENT PAR RESTRICTION VASCULAIRE SUR
LA PERFORMANCE ATHLÉTIQUE CHEZ DES JOUEURS DE HOCKEY
UNIVERSITAIRES EN PHASE DE COMPÉTITION**

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA
MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE**

**PAR
DENIS-ALEXANDRE NADEAU**

JUIN 2021

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES
MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

Direction de recherche :

CLAUDE LAJOIE Ph.D.	Université du Québec à Trois-Rivières
Prénom et nom, grade	Directeur de recherche

Jury d'évaluation

CLAUDE LAJOIE Ph.D.	Université du Québec à Trois-Rivières
Prénom et nom, grade	Rattachement institutionnel

JEAN LEMOYNE Ph.D.	Université du Québec à Trois-Rivières
Prénom et nom, grade	Rattachement institutionnel

ERIC GOULET Ph.D.	Université de Sherbrooke
Prénom et nom, grade	Rattachement institutionnel

RÉSUMÉ

Contexte : Le hockey sur glace de niveau interuniversitaire canadien (SIC) est un sport exigeant, non seulement en raison de l'intensité des entraînements mais également du volume total des heures d'entraînements hebdomadaires. La littérature montre qu'au cours d'une saison de compétition, au plan individuel, des changements se manifestent au niveau anthropométrique, physiologique comme la force et la puissance musculaire, la puissance et la capacité des systèmes énergétiques engendrant ainsi des modifications du phénotype musculaire. Les entraînements hors glace effectués traditionnellement chez les hockeyeurs pendant leur saison de compétition, ne sont pas adaptés pour pallier à la perte des aptitudes athlétiques et l'accumulation de fatigue. Afin de conserver une performance optimale en période de compétition, les entraînements doivent être dosés afin d'éviter le sur-entraînement dans le but de maintenir un bon niveau de jeu sur glace. L'entraînement par restriction vasculaire (ERV), est une méthode d'entraînement novatrice qui, en utilisant des charges sous-maximales, permet d'obtenir des gains similaires à des entraînements de haute intensité à plus de 70 % du 1-RM (ERHI). À ce jour, aucune étude n'a observé les effets de cette méthode d'entraînement sur la performance athlétique des joueurs de hockey pendant une saison de compétition. **Objectif :** Sur une période de neuf semaines, du début de la saison à la fin du mois d'août, jusqu'à la mi-saison en mi-décembre, cette étude a mesuré les effets de l'entraînement par restriction vasculaire sur la performance athlétique (1) et sur la composition corporelle (2) comparativement à un entraînement traditionnel de maintien chez des hockeyeurs universitaires. **Méthodologie :** Vingt-deux joueurs de hockey de l'équipe des Patriotes de l'UQTR ont participé à l'étude. Chaque participant a d'abord passé un premier test qui consistait à déterminer un niveau de pression individualisée (mmHg) pour que l'entraînement ERV soit optimal. En utilisant un doppler (technique d'imagerie médicale par ultrasons) cela a ainsi permis de mesurer le niveau d'occlusion optimal pour chaque participant. Deux groupes ont été formés de manière aléatoire. Les participants ont également passé une première batterie de tests physiques (masse corporelle, pourcentage de tissus adipeux). Ces tests ont servi de mesure pré et post intervention afin de noter les différences sur la performance athlétique au terme des neuf semaines. Pour ce faire, une mesure a été prise à la 1^{re} et à la 9^e semaine. Ce programme

d'entraînement a été conçu de manière à ce que les deux groupes aient le même volume et la même charge d'entraînement totale. Le groupe ERV effectuant un protocole incluant 4 séries de 30-15-15-15 répétitions comparativement au groupe contrôle (CTRL) effectuant 4 séries de 12 répétitions pour les mêmes exercices avec un pourcentage de charge individualisée selon leur groupe respectif. La performance athlétique a été mesurée via les tests suivants : force au développé couché et au squat (kg), l'endurance-vitesse via 5 sprints répétés sur 20 mètres, la puissance des membres inférieurs via des sauts en hauteur (cm) et en longueur (cm). **Résultats:** Nous avons observé une diminution significative $p < 0.05$ au niveau de la masse adipeuse chez le groupe ERV ($-2.16 \% \pm -1.38 \%$) comparativement au groupe contrôle ($-1.81 \% \pm 0.22 \%$). Pour le test de sprint répété sur 20 mètres, le groupe ERV a diminué de façon significative son temps de passage ($-0,28 \text{ sec} \pm -0,19 \text{ sec}$), comparativement au groupe contrôle ($-0.09 \text{ sec} \pm 0.07 \text{ sec}$) au terme de l'étude. Au niveau de la force au squat ($0.90 \text{ kg} \pm 14.22 \text{ kg}$) et du développé couché ($0.28 \text{ kg} \pm 7.84 \text{ kg}$), le groupe ERV améliore sa performance de manière significative ($p < 0.05$) suite à huit semaines d'entraînement. Le groupe contrôle quant à lui ($p < 0.05$) voit sa performance diminuer au squat entre les temps de mesures ($-9.38 \text{ kg} \pm -1.95 \text{ kg}$) ainsi que pour le développé couché ($-9.13 \text{ kg} \pm -2.58 \text{ kg}$). Pour le saut en hauteur ($1.68 \text{ cm} \pm 7.99 \text{ cm}$) et en longueur ($1.25 \text{ cm} \pm 3.58 \text{ cm}$), seule la condition des sujets du groupe ERV ont vu leur performance améliorée au terme de l'étude ($p < 0.05$). Les résultats du saut en hauteur et en longueur pour le groupe contrôle sont respectivement de ($-0.84 \text{ cm} \pm 3.17 \text{ cm}$) et de ($-1.46 \text{ cm} \pm 2.08 \text{ cm}$). **Conclusion:** À la lumière de cette étude, l'ERV semble permettre de maximiser le potentiel athlétique et le maintien des aptitudes physiques chez des joueurs de hockey universitaire, pendant leur saison de compétition.

Table des matières

RÉSUMÉ.....	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	x
REMERCIEMENTS.....	xii
I. INTRODUCTION.....	xiii
II. PROBLÉMATIQUE.....	I
2.1 Les exigences physiologiques du hockey sur glace.....	1
2.1.1 Le contexte du joueur de hockey.....	1
2.1.2 Les systèmes énergétiques.....	1
III. CADRE THÉORIQUE.....	4
3.1 Les facteurs physiologiques déterminants pour le joueur de hockey sur glace.....	4
3.1.1 La vitesse.....	4
3.1.2 La composition corporelle.....	5
3.1.3 Adaptations physiologiques au cours d'une saison de hockey.....	5
3.1.4 Les blessures au hockey.....	6
3.1.5 L'atrophie musculaire chez le joueur de hockey.....	7
3.2 L'entraînement en musculation.....	7
3.2.1 Les types d'entraînement.....	7
3.2.2 La force et l'hypertrophie musculaire.....	8
3.3 L'entraînement par restriction vasculaire (ERV) chez les sportifs.....	9
3.3.1 L'émergence de l'ERV chez les sportifs.....	9
3.3.2 Les études non concluantes avec l'ERV.....	9
3.3.3 Adaptations physiologiques avec l'ERV.....	10
3.4 La réponse hémodynamique à l'ERV.....	11
3.5 La douleur musculaire différée (DOMS).....	12
3.6 Les altérations et adaptations métaboliques de l'ERV.....	13
3.6.1 La lactatémie et l'ERV.....	13
3.6.2 L'adaptation de la fibre musculaire avec l'ERV.....	14
3.6.3 L'activation musculaire induite par un environnement hypoxique via l'ERV.....	15
3.7 La réponse hormonale induite par l'ERV.....	15
3.7.1 L'hormone de croissance GH.....	15
3.7.2 L'influence de l'IGF-I.....	17
3.7.3 Les cellules satellites.....	19
3.8 Le facteur VEGF.....	21
3.9 Le mTORC.....	22
3.10 La myostatine.....	23

3.11 L'effet systémique de L'ERV	24
3.12 La sécurité de l'ERV	25
3.12.1 Thrombose	25
3.13 L'ERV et son potentiel pour les joueurs de hockey.....	26
3.13.1 Les avantages de l'ERV pour les joueurs de hockey.....	26
3.13.2 Les avantages de l'ERV pour la réadaptation et le maintien des capacités athlétiques.....	27
IV. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	29
V. PRÉSENTATION DE L'ARTICLE.....	30
ABSTRACT.....	31
INTRODUCTION	32
METHODS.....	35
RESULTS.....	37
DISCUSSION	43
CONCLUSION.....	46
REFERENCES	48
VI. DISCUSSION GÉNÉRALE.....	52
6.1 Facteurs physiologiques	53
6.1.1 Contexte de l'étude.....	53
6.1.2 La composition corporelle.....	54
6.1.3 L'endurance vitesse.....	55
6.1.4 La force musculaire.....	55
6.1.5 La puissance des membres inférieurs.....	56
6.2 Applications pratiques	57
6.3 Forces et limites de l'étude	58
6.4 Conclusion.....	59
6.4.1 Financement	59
6.4.2 Conflit d'intérêt	59
6.4.3 Certificat éthique.....	60
6.4.4 Remerciements	60
RÉFÉRENCES.....	61
ANNEXES.....	73
LETTRE D'INFORMATION ET FORMULAIRE DE CONSENTEMENT	75
FORMULAIRE DE CONSENTEMENT.....	81
CERTIFICAT ÉTHIQUE	82

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Page
1. ÉTUDES PORTANT SUR L'ERV ET LA PERFORMANCE ATHLÉTIQUE	83

LISTE DES FIGURES

Figures	Page
1.1 COMPARAISON DE LA SYSTOLE ET DIASTOLE (TAKANO 2005)	12
1.2 COMPARAISON DES BPM SUITE AU BFR (TAKANO 2005)	13
2.1 MESURE DE LA LACTATÉMIE DANS LE SANG (POTON 2004)	16
2.2 MESURE DE L'ACTIVITÉ MUSCULAIRE (WILSON 2013)	17
3.1 MESURE DE LA GH DANS LE SANG (TAKARADA 2000)	18
3.2 MESURE DE LA GH DANS LE SANG POST-ENTRAÎNEMENT (PIERCE 2006)	19
3.3 MESURE DE LA MRNA ET DU COLLAGÈNE (DOESSING 2010)	19
3.4 ÉVOLUTION DE LA MASSE MUSCULAIRE SUITE AU BFR (ABE 2005)	20
3.5 ÉVOLUTION DE LA PRÉSENCE DE L'IGF-1 (ABE 2005)	21
3.6 SÉCRÉTION DE GH ET GUÉRISON DE L'OS (RASCHKE 2007)	21
3.7 ÉVOLUTION DE LA FORCE ISOMÉTRIQUE MAXIMALE (NIELSEN 2012)	22
3.8 PROLIFÉRATION DES CELLULES SATELLITES FIBRE TYPE I (NIELSEN 2012)	23
3.9 PROLIFÉRATION DES CELLULES SATELLITES FIBRE TYPE II (NIELSEN 2012)	23
4.1 PRÉSENCE DE VEGF SUITE À UN ENTRAÎNEMENT BFR (TAKARADA 2005)	24
5.1 MESURE DE LA SP SUITE À UN ENTRAÎNEMENT BFR (GUNDERMAN 2014)	25
6.1 PRÉSENCE DE LA MYOSTATINE POST-ENTRAÎNEMENT BFR (LAURENTINO 2012)	26
7.1 EFFET SYSTÉMIQUE SUITE À UN ENTRAÎNEMENT BFR (MADARAME 2008)	27
7.2 EFFET SYSTÉMIQUE SUITE À UN ENTRAÎNEMENT BFR (MADARAME 2008)	28
8.1 MESURE DE LA TPA DANS LE SANG (CLARK 2012)	29
9.1 BODY COMPOSITION FAT PERCENTAGE	42
9.2 BODY COMPOSITION WEIGHT (Kg)	42
10.1 REPEATED SPRINT ENDURANCE TEST (20 METERS)	43
11.1 SQUAT STRENGTH (Kg)	44
11.2 BENCH STRENGTH (Kg)	44

12.1 LEG POWER (CMJ)	45
12.2 LEG POWER LONG DISTANCE JUMP (LDJ)	46

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ACSM :	American College and Sports Medicine
ASM :	Aire de surface musculaire
ATP :	Adenosine Triphosphate
BFR :	Blood Flow Restriction / Restriction vasculaire
BP :	Balance protéique
BPM :	Battement cardiaque par minute
CAPS :	Centre de l'activité physique et sportive
CTRL :	Groupe contrôle
DOMS :	Douleur musculaire différé / Delayed onset muscle soreness
DPM :	Dégradation de la protéine musculaire
ECG :	Électrocardiographie
ECR :	Étude contrôlée randomisée
EFI :	Low intensity exercise / Exercice de faible intensité
ERHI :	Entraînement par résistance à haute intensité
ERV :	Blood Flow Restriction / Restriction vasculaire
FSPT :	Free weight strength and power training
GH :	Growth Hormone / Hormone de croissance
HIT :	Entraînement traditionnel en résistance (70 %- 1-RM)
IGF-1 :	Insulin-like growth factor-1 / Facteur de croissance (hormone peptidique)
LIE :	Low intensity exercise / Exercice de faible intensité
mmHg :	Millimètres de mercure
MSPT :	Monitorized strength and power training
mTORC :	Cible de la rapamycine chez les mammifères (enzyme)
mV :	Milivolt
VAM :	Vitesse aérobie maximale
Rap :	Rapamycine
SAA :	Système anaérobie alactique
SAL :	Système anaérobie lactique
SA :	Systèmes aérobie

SIC :	Sport interuniversitaire canadien
SAA :	Système anaérobie alactique
SP :	Synthèse protéique
tPA :	Activateur tissulaire de plasminogène (enzyme)
UQTR :	Université du Québec à Trois-Rivières
VEGF :	Facteur de croissance endothéliale vasculaire
VO₂ max :	Consommation d'oxygène maximale
1-RM :	Répétition volontaire maximal

REMERCIEMENTS

Mon parcours académique m'a amené au fil des années à approfondir mes connaissances tant dans les domaines de la psychologie que de la performance sportive. J'ai donc voulu jumeler ces deux champs d'intérêt pour mener une étude sur le sport qui me passionne depuis toujours, le hockey.

Dans un premier temps, je voudrais remercier mon directeur de recherche : M. Claude Lajoie ainsi que M. Jean Lemoyne. Leur soutien a contribué à la réalisation de cette étude et à la rédaction de ce mémoire. J'aimerais également remercier M. Frédéric Domingue et M. Philippe Gendron pour leur inspiration et leur support.

Dans un deuxième temps, je désire remercier M. Jean-François Brunelle pour son aide au CAPS, son ouverture et son intérêt à l'égard d'un entraînement novateur. Un merci également à M. Marc-Antoine Hubert, entraîneur de l'équipe des Patriotes de l'UQTR pour sa contribution à ma recherche.

Un remerciement spécial à Mme Marie Gernigon, professeure à l'Université Paris-Sud, établissement au sein duquel j'ai effectué un stage de recherche de 6 mois en cours de rédaction du présent mémoire.

Pour terminer, un merci spécial à ma conjointe et à mes parents pour leur soutien et leurs encouragements tout au cours de ce long processus! Aussi, un merci spécial à mes grands-parents qui suivent avec intérêt mes projets.

I. INTRODUCTION

Ce mémoire a pour but de mener une étude afin de mieux comprendre l'effet des changements physiologiques de l'entraînement par restriction vasculaire (ERV) sur la performance athlétique chez des joueurs de hockey universitaire. L'ERV est une méthode d'entraînement musculaire novatrice utilisée afin d'accélérer la réadaptation suite à une blessure. Cette méthode utilise des brassards à pressions qui sont gonflés proximale aux bras ou aux cuisses du sujet, afin d'atteindre un niveau optimal d'occlusion sanguine de 80 %. Idéalement, le ratio doit être mesuré individuellement en fonction de chaque individu puisque ce dernier va varier en fonction de la masse musculaire et de la masse adipeuse du participant. L'ERV crée un environnement hypoxique dans le muscle qui permet de solliciter les fibres musculaires rapides avec de faibles charges pour accroître la production de force et de puissance musculaire. Comme la littérature le mentionne, ce type d'entraînement permet également de réduire les douleurs musculaires différées (DOMS). La faible présence de DOMS suite à ce type d'entraînement permet de reproduire le protocole ERV plusieurs fois par semaine. À l'heure actuelle, il est courant dans le monde du hockey d'utiliser l'entraînement de haute intensité (ERHI) ou de style olympique nécessitant de soulever des charges de 70 % du 1-RM et plus. Contrairement au ERV, les ERHI entraînent des DOMS dû principalement à des micro-déchirures musculaires et ne peuvent donc pas être répétés aussi souvent lors d'une planification visant l'optimisation de la performance athlétique en période de compétition. Donc, via l'utilisation de l'ERV en opposition à l'utilisation de l'ERHI en période compétitive, l'étude vise à mieux définir l'effet de chaque type d'entraînement sur la composition corporelle ainsi que sur la performance athlétique associée à des tests physiques hors glace.

La pratique du hockey sur glace fait appel à des qualités physiques spécifiques comme la force, la puissance, la vitesse et l'endurance. L'entraînement hors glace est incontournable pour chaque athlète pratiquant ce sport afin de pouvoir performer à haut niveau. Ce mémoire fera mention des ouvrages pertinents à une planification de l'entraînement pour ce sport, et ce, plus spécifiquement en lien avec l'augmentation de la force, le maintien de la puissance et les changements au niveau de la composition corporelle. Il sera ensuite question des raisons pour lesquelles l'ERV s'avère bénéfique

pour cette population en évoquant les principes physiologiques et pratiques visant à optimiser les aptitudes physiques et athlétiques pendant une saison de compétition.

Dans un premier temps, il sera question de la problématique découlant de la pratique du hockey sur glace au cours d'une saison. L'évolution des systèmes énergétiques ainsi que certaines variables biologiques et physiologiques au cours d'une saison, seront répertoriées à partir de la littérature scientifique. Par la suite, l'ERV ainsi que ses effets physiologiques seront décrits. À la fin de la problématique, les objectifs et l'hypothèse de recherche seront énoncés. Le devis de recherche ainsi que les résultats sont insérés dans ce mémoire sous forme de manuscrit en langue anglaise afin d'être soumis à un journal scientifique sur la performance sportive. Une discussion générale s'ensuivra pour ensuite conclure avec des recommandations pratiques ainsi que les forces et limites de cette étude.

II. PROBLÉMATIQUE

2.1 Les exigences physiologiques du hockey sur glace

2.1.1 Le contexte du joueur de hockey

L'entraînement physique au hockey a beaucoup évolué dans les dernières années. Il est désormais suggéré de mettre en place une planification d'entraînement spécifique au hockey afin de performer au plus haut niveau. La saison de compétition s'étend généralement sur une période de huit mois, alors que la période d'entraînement estival varie entre deux à quatre mois selon le parcours de l'équipe dans leur ligue respective. Selon le circuit, les joueurs peuvent jouer de 40 à 55 matchs pour les joueurs universitaires alors que les joueurs professionnels et junior majeur peuvent jouer jusqu'à 100 matchs par saison. Le volume d'entraînement est donc considérable et cela entraîne des effets au niveau des variables physiologiques. Plus précisément, l'effort type du joueur de hockey sur la glace se caractérise par de courtes présences, entre 45 et 60 secondes à très haute intensité, en plus de comporter des contacts physiques.

2.1.2 Les systèmes énergétiques

Comme au niveau professionnel, le hockey universitaire se compose de trois périodes de 20 minutes de jeu chronométré, avec une pause de 15 minutes entre les périodes de jeu. Le temps d'une présence moyenne sur glace varie en fonction de plusieurs facteurs externes, le temps de repos est pour sa part estimé à deux minutes 30 secondes entre les présences (ratio de 1 : 4). Selon l'étude de Cox et al., (1995), le système anaérobie alactique (SAA) est le plus sollicité par les joueurs de hockey. Généralement, la puissance du SAA est élevée, mais ne dure que quelques secondes (<10 sec). Pour effectuer des gestes techniques comme des mises en échec, des virages brusques, des lancers frappés, des arrêts brusques suivis de départs rapides, ce sont toutes les fibres musculaires qui sont sollicitées en utilisant le SAA. Les fibres musculaires rapides de type II qui sont ainsi recrutées pour fournir la demande énergétique, utilisent principalement la créatine phosphate comme substrat énergétique. L'étude de Green et al., (1977) a montré qu'un pourcentage plus élevé

de fibres rapides permettrait d'obtenir une plus grande puissance sur une courte durée, comme lors de l'accélération sur glace. Lors d'une présence sur glace, la répétition des efforts intensifs est entrecoupée de phases de récupération active et, par la suite, se doit d'être suppléée par le SAL et le SA. Le principal carburant énergétique utilisé est le glycogène musculaire qui, selon la quantité d'efforts intensifs, pourrait être limitant dû à la durée des matchs entraînant une déplétion rapide. Pour des gestes plus soutenus tels que la glisse, le repli défensif et l'accélération, c'est le SAL et le SAA qui seront les plus sollicités. La puissance du SAL varie entre 20 et 60 secondes, ce qui est représentatif d'une présence moyenne sur la glace. Le substrat énergétique utilisé par ce système est le glycogène, entraînant une hausse de la lactatémie. Durocher et al., (2008) ont voulu mesurer l'évolution du seuil lactique et la VAM chez des hockeyeurs collégiaux pendant une saison de hockey. Seize joueurs ont donc participé selon trois temps de mesure (début de saison, mi-saison et fin de saison) à un test progressif sur patins. Ces derniers ont observé que la vitesse de patinage au seuil lactique était la même pour le début et la fin de saison alors qu'elle était plus élevée au cours de la mi-saison, suggérant une amélioration de l'économie d'effort (O_2). Ils ont aussi observé que la VAM était significativement supérieure au début de la saison comparativement à la fin de la saison. Finalement, les chercheurs ont observé avec leurs résultats que la quantité d'entraînement physique exécutée avait optimisé l'efficacité des fibres plus lentes (type I) au profit des fibres plus rapides (type II). Le volume d'entraînements sur glace, le nombre de matchs et les déplacements rendent difficile la planification d'un entraînement spécifique. Les entraînements des joueurs sont principalement axés sur l'aspect de la vitesse (sprints), sur la mobilité ainsi que sur des séances d'haltérophilie à faible intensité. (Allard et al., 2019; Groulx et al., 2018).

L'autre système énergétique utilisé est le SA. Ce dernier se doit d'être élevé afin de pouvoir répéter des efforts à haute intensité sur toute la durée d'un match. Ce sont principalement les fibres plus lentes et oxydatives (type I) qui sont sollicitées. Ce système permet aussi aux joueurs de mieux récupérer en resynthétisant l'adénosine-triphosphate (ATP) (Cox et al., 1995). Comme la fibre musculaire tend à s'adapter en fonction du stimulus auquel elle est exposée, le type d'entraînement exécuté (force, endurance,

hypertrophie, vitesse) est donc un facteur important à considérer pour la performance athlétique du joueur de hockey. Parmi les solutions possibles, l'ERV pourrait être bénéfique, puisqu'il présente les mêmes effets physiologiques positifs que les entraînements ERHI (hypertrophie, force, puissance) tout en utilisant des charges sous-maximales (Hughes et al., 2019). L'enjeu pour la communauté scientifique est donc de cibler un type d'entraînement répondant aux besoins spécifiques de ces athlètes tout en contrôlant le risque de subir des blessures tout en évitant le surentraînement.

III. CADRE THÉORIQUE

3.1 Les facteurs physiologiques déterminants pour le joueur de hockey sur glace

Les déterminants du succès pour un joueur de hockey passent par le développement d'aptitudes physiques spécifiques. Le joueur de hockey moderne se doit d'être un athlète très complet. Le sport exige de réaliser des mises en échecs, des sprints répétés suivi d'arrêts et de virages brusques, des virages, ainsi que des changements rapides de direction. Afin de performer, le joueur doit donc développer un haut niveau de puissance musculaire, de force musculaire, d'endurance musculaire et un haut niveau d'endurance aérobie (Burr et al., 2008). Gilenstam et al., (2011) mentionnent également que plus le joueur possède une masse et une force musculaire développée, plus il sera performant sur la glace.

3.1.1 La vitesse

La vitesse de patinage est également un facteur déterminant dans le succès d'un joueur. Potteiger et al., (2010) mentionnent que les meilleurs déterminants du succès au hockey sur glace seraient la capacité de production de force mesurée lors d'un squat, et de puissance musculaire des membres inférieurs, ainsi que la puissance déployée lors d'un test de saut vertical. Ces auteurs mentionnent également l'importance de travailler avec des activités qui permettent d'augmenter la puissance et la force musculaire des membres inférieurs sur une base régulière. L'étude de Behm et al., (2005) mentionne l'importance du vastus lateralis dans le mouvement de patinage. Ce muscle de la cuisse est fortement activé lors de la prise de vitesse, des arrêts brusques ainsi que lors des changements rapides de direction. Les auteurs rapportent également que le test de sprint de 30 mètres sur piste est fortement corrélé avec la vitesse de patinage. L'étude de Farlinger et al., (2007) abonde dans le même sens que Behm et al., (2005), alors que les auteurs mentionnent que les meilleurs tests hors glace pour prédire la vitesse de patinage sur glace (35 mètres) sont le test de sprint sur 30 mètres sur piste, ainsi que le test de saut vertical.

3.1.2 La composition corporelle

La composition corporelle est un facteur déterminant pour le succès dans les ligues professionnelles selon Montgomery et al., (2006). Ces auteurs montrent que les joueurs des années 1920-1930 étaient en moyenne plus légers de 17 kg et plus petits de 10 cm comparativement à ceux des années 1980-2000. Burr et al., (2008) mentionnent qu'un surplus de masse adipeuse réduirait la vitesse de patinage puisque la masse inerte devant être déplacée demande de générer plus de force par les muscles. Tarter et al., (2009) abondent dans le même sens que Burr et al., (2008), en mentionnant que la composition corporelle du joueur de hockey en fonction de sa position, est un facteur déterminant dans le processus de sélection au repêchage de la Ligue nationale de hockey.

3.1.3 Adaptations physiologiques au cours d'une saison de hockey

Les changements au niveau physiologique qui surviennent lors d'une saison de compétition sont influencés par le volume d'entraînement des joueurs. C'est ce qu'on peut lire dans le travail de Patrick Delisle-Houde, kinésologue associé aux Canadiens de Montréal (Deslisle-Houde et al., 2019). Le but de l'étude était d'identifier les changements de la réponse physiologique à l'effort ainsi que les changements au niveau de la composition corporelle des joueurs de hockey universitaire masculin et féminin durant leur saison de compétition. L'auteur rapporte que les muscles squelettiques des joueurs de hockey ont tendance à s'atrophier au cours d'une saison. Ces propos abondent dans la même direction que l'étude de Green et al., (2010), dans laquelle il est soulevé que les hockeyeurs subissent des changements phénotypiques de la musculature entre le début de la saison et la fin de saison. Afin de mieux apprécier ces changements phénotypiques, les auteurs ont effectué des biopsies dans le vaste latéral des joueurs avant et après la saison. Ces derniers n'observent aucune différence au niveau du pourcentage des types de fibres musculaires, mais démontrent des différences au niveau de l'activité enzymatique métabolique comme, le succinate déhydrogénase impliqué dans le processus respiratoire, la citrate synthase impliquée dans le cycle de Krebs résistante à l'acidité, et la phosphofructokinase impliquée dans la glycolyse. Ils ont aussi remarqué une diminution significative de l'aire de surface de section musculaire (ASM) des fibres de (type I) et des fibres de (type IIa). L'étude montre également que la saison de hockey permet d'améliorer

le système oxydatif musculaire via une augmentation du nombre de capillaires par unité de surface (ASM) des fibres musculaires. Bien que le système aérobie occupe une partie importante de la performance dans un sport comme le hockey, il demeure qu'une perte de l'ASM n'est pas optimale afin de maintenir la force et la puissance musculaire du muscle squelettique tout au long de la saison (Daub et al., 1982). Un autre problème soulevé dans la littérature par Kraemer et al., (1995) est que la pratique d'une activité aérobie régulière comme le hockey altère le développement de la force et de la puissance musculaire. Il semble donc possible que l'entraînement actuel des joueurs de hockey ne soit pas suffisant pour maintenir les paramètres physiologiques essentiels, comme la force et l'ASM, pour soutenir les exigences physiques du hockey professionnel au cours d'une saison de compétition.

3.1.4 Les blessures au hockey

L'incidence des blessures au hockey n'a cessé de croître au cours des dernières décennies (Agel et al., 2007). Le jeu est de plus en plus rapide et les joueurs affichent un indice de masse corporelle plus élevé comme il est mentionné dans l'étude de Montgomery et al., (2006), ce qui pourrait engendrer des incidents plus enclins à générer des blessures. Bien que l'ASM tend à diminuer au cours de la saison (Delisle-Houde et al., 2019), tous les joueurs doivent maintenant s'entraîner en période estivale afin d'arriver plus fort, plus puissant, et mieux préparés physiquement afin d'éviter les blessures pour leur saison de compétition. Le défi est de préserver les gains en force et en puissance lors des joutes en évitant d'accroître la fatigue et le surentraînement en phase de compétition. La fatigue et la planification de l'entraînement sont des facteurs importants à ne pas négliger lorsque l'on parle de blessure. La majorité des blessures au hockey surviennent à la suite de divers traumatismes (80 %) causés par des contacts physiques alors que 20 % sont dues à l'usure des cartilages et des articulations. La plupart des blessures ont lieu au cours de la 3^e période de jeu, tandis que la 1^{re} période de jeu est celle où l'on en constate le moins. Les blessures ont majoritairement lieu dans la zone offensive ou défensive de chaque équipe, endroits où les contacts physiques sont les plus fréquents contrairement à la zone neutre (Agel et al., 2007). L'incidence de ces blessures pourrait être en lien avec la dépense énergétique et en présence de fatigue (Delextrat et al., 2005). C'est pourquoi l'étude de Lastayo et al., (2003) propose

qu'un entraînement adapté permettrait de diminuer le risque de blessures suite aux contacts durant les joutes. En effet, une plus grande masse musculaire est reconnue pour protéger les articulations. Des programmes d'entraînement musculaire, qui limiteraient l'accumulation de fatigue en phase de compétition, permettraient ainsi de prévenir l'incidence des blessures sportives au hockey.

3.1.5 L'atrophie musculaire chez le joueur de hockey

L'atrophie musculaire est un autre facteur important à considérer puisque cela affecte la force et la puissance musculaire (Apell et al., 1990). Il serait donc intéressant pour un athlète de prendre part à un programme d'entraînement lui permettant de conserver une masse musculaire suffisante afin de limiter l'augmentation du risque de blessure. Parmi les solutions possibles, l'ERV pourrait être bénéfique, puisqu'il présente les mêmes effets physiologiques positifs que les entraînements ERHI (hypertrophie, force, puissance) tout en utilisant des charges qui sont nettement plus faibles (Hughes et al., 2019). L'enjeu pour les entraîneurs est de trouver des méthodes d'entraînement qui minimiseraient l'accumulation de fatigue tout en réduisant le risque de blessure des joueurs.

3.2 L'entraînement en musculation

3.2.1 Les types d'entraînement

Les préparateurs physiques utilisent plusieurs méthodes d'entraînement afin de maximiser la condition physique des joueurs de hockey. Dans les dernières années, nous avons vu l'émergence de l'entraînement de type Crossfit qui consiste à faire des circuits d'entraînements variés à haute intensité. Les adeptes de ce type d'entraînement utilisent des mouvements d'haltérophilie, de plyométrie, d'endurance cardiovasculaire et des mouvements améliorant la flexibilité (Hopkins et al., 2019). Récemment, Helland et al., (2017) ont comparé l'effet au niveau physiologique de trois types d'entraînement, soit l'haltérophilie olympique, des entraînements en mode isocinétique et des entraînements en force et puissance avec des poids libres chez de jeunes athlètes. L'étude sur une période de huit semaines, à raison de 2-3 entraînements par semaine, avait pour but de mesurer les effets sur des sprints de 30 mètres, un saut en hauteur et le 1-RM max au squat. Les auteurs ont conclu que le type d'entraînement permettant d'obtenir les meilleurs résultats aux tests

physiques est celui de type isocinétique contrôlé. Le groupe d'entraînement qui a utilisé les poids libres a été aussi efficace que celui utilisant le mode isocinétique au niveau de l'augmentation de la masse musculaire du quadriceps seulement. Pour ce qui est de l'entraînement en haltérophilie, ce dernier n'a eu aucun effet positif sur la performance aux tests physiques.

3.2.2 La force et l'hypertrophie musculaire

Selon l'American College Sports of Medecine (ACSM), l'optimisation de la force et de l'hypertrophie musculaire nécessite de réaliser un entraînement modéré à intense, en utilisant de 8 à 10 exercices pour les membres inférieurs et supérieurs du corps. Ces exercices doivent cibler les principaux groupes musculaires à des intensités au-delà de 65 % du 1-RM, et ce, de 2 à 3 fois par semaine (Donnelly et al., 2009). Cette théorie va dans le même sens que le principe physiologique de mise sous tension en tempo, qui représente le temps pendant lequel il y a une contraction musculaire volontaire. Pour créer des adaptations en force, il est nécessaire de soulever une charge suffisante avoisinant 75 % de la force maximale avec plusieurs répétitions selon l'objectif visé (Lloyd et al., 2016). Bell et al., (1993) rapportent qu'il est possible de conserver des gains en force par un entraînement adapté travaillant la force pour un minimum d'une à deux fois par semaine sans nuire à un entraînement de type aérobie comme le hockey. Ce type d'entraînement est toutefois difficile à intégrer dans une planification annuelle pour le hockey en saison de compétition compte tenu des exigences physiques qu'entraînent les joutes compétitives. L'intégration de l'ERV pourrait être une méthode intéressante et efficace pour les hockeyeurs qui ont plusieurs joutes consécutives en période de compétition. Les avantages de l'ERV au niveau des qualités musculaires, comme le maintien et l'amélioration de la force, de la puissance et de la masse musculaire, permettrait en théorie de combler les lacunes d'excès de fatigue et de risque de blessures en période de compétition. Takarada et al., (2004) ont comparé les effets de deux types d'entraînement en musculation, avec ou sans restriction, d'une durée de 8 semaines à la même intensité (20 % 1-RM). Les résultats démontrent que le groupe ERV a augmenté significativement sa force des membres inférieurs de 9 % en utilisant des exercices d'extension des genoux comparativement au groupe contrôle. Le groupe ERV a démontré une augmentation significative de l'ASM

comparativement au groupe contrôle. L'ASM a augmentée de 10,3 % en moyenne pour le groupe ERV. Une méta-analyse réalisée par Loenneke et al., (2012) décrit que les gains en force et l'ASM sont similaires entre l'utilisation d'une méthode ERV et ERHI à 70 % 1-RM. Ils mentionnent aussi que pour obtenir des gains acceptables avec la méthode ERV, l'intensité des charges d'entraînement devrait se situer entre 20 % et 30 % du 1-RM.

3.3 L'entraînement par restriction vasculaire (ERV) chez les sportifs

3.3.1 L'émergence de l'ERV chez les sportifs

Au cours des dix dernières années, l'utilisation de l'ERV a d'abord été introduite dans le domaine sportif pour favoriser la réadaptation suite à une blessure chez les athlètes. Dans une optique de réadaptation suite à une blessure, des professionnels de la santé ont intégré à leur traitement des exercices spécifiques avec ERV dans le but d'alléger la charge de travail de leurs patients. (Wilson et al., 2012). L'ERV permettrait alors de débiter un processus de réadaptation et un retour fonctionnel plus rapidement qu'avec des exercices de force plus intensifs. Parmi les principaux bénéfices de l'ERV, on observe des gains en hypertrophie, en force et en endurance musculaire même si les charges de travail sont légères (Loenneke et al., 2013).

3.3.2 Les études non concluantes avec l'ERV

La littérature montre toutefois que l'ERV n'est pas efficace dans certaines conditions. L'importance d'utiliser une pression individualisée est rapportée dans l'étude de (McEwen et al., 2019). Dans un contexte sportif en phase de compétition, Scott et al., (2017) n'ont rapporté aucun effet bénéfique de l'ERV suite à cinq semaines d'entraînement chez des joueurs de football australien. Lors de cette étude, les auteurs ont utilisé des bandes élastiques afin de créer une occlusion contrairement aux brassards de pression couramment utilisés. L'utilisation d'une bande élastique n'offre pas une pression constante à chaque utilisation. De plus, afin de mesurer la perception d'occlusion, chaque participant devait utiliser une échelle de perception de 7/10 à chaque entraînement. La perception de

la pression peut également changer d'un entraînement à l'autre, et ainsi affecter les résultats (Bell et al., 2019).

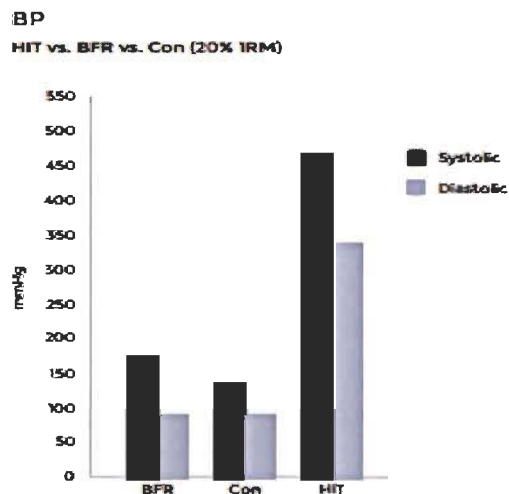
3.3.3 Adaptations physiologiques avec l'ERV

Les prochaines parties de ce mémoire présenteront les mécanismes et les adaptations physiologiques que procure l'ERV en lien avec la performance athlétique. L'ERV est une technique d'entraînement en musculation qui consiste à appliquer une pression externe sur la partie la plus proximale du membre supérieur (bras) ou inférieur (jambe). La pression qui est appliquée au niveau proximal des membres à l'aide d'un brassard, a pour but de limiter le retour veineux du sang vers le cœur pour y être réoxygéné, et ce, sans limiter l'apport du sang oxygéné faisant le chemin inverse et provenant des artères principales. Dans la littérature, cette technique d'entraînement à faible intensité présente plusieurs bénéfices pour stimuler l'hypertrophie musculaire, l'endurance, la force et la puissance (Spranger et al., 2015). Les études montrent que les gains en force et en hypertrophie sont présents sans toutefois pouvoir préciser avec justesse quel phénomène physiologique en est principalement responsable. (Scott et al., 2014; Pope et al., 2013; Loenneke et al., 2010). Plusieurs universités américaines et clubs sportifs professionnels utilisent désormais cette méthode. La méthode d'entraînement consiste à soulever une charge sous-maximale, qui est généralement de 20 à 30 % du 1-RM, pendant un temps déterminé variant de 15 à 30 secondes. L'idée est de créer un milieu hypoxique via une occlusion sanguine veineuse pendant les répétitions du geste musculaire (Takarada et al., 2000). L'avantage de travailler le muscle en état d'hypoxie est qu'il altère le milieu cellulaire, ce qui favorise l'activation de plusieurs molécules signalétiques engendrant ainsi des adaptations physiologiques durant le ERV. L'ERV favorise le recrutement des unités motrices rapides (fibres de type II), l'augmentation de la sécrétion d'hormones de croissance, la diminution de l'activité de la myostatine, l'augmentation de l'activité des facteurs VEGF, un gonflement des cellules musculaires, l'augmentation de la synthèse protéique ainsi qu'une augmentation de la migration des cellules satellites (Loenneke et al., 2013). À la lumière de ces informations, il est logique de croire que ce type d'entraînement est en mesure d'amener des bénéfices physiologiques importants, et ce, même en cours de saison de compétition.

3.4 La réponse hémodynamique à l'ERV

MacDougall et al., (1985) rapportent que la pression systolique monte jusqu'à des valeurs aussi élevées que 480/350 mmHg lors d'un exercice utilisant des charges entre 80-100 % du 1-RM. Ils ont conclu que la charge mécanique induite sur le système vasculaire entraîne une augmentation de la pression sanguine. Takano et al., (2005) ont aussi mesuré la réponse hémodynamique de pression sanguine et des battements cardiaques sous une condition ERV à 20 % du 1-RM. Ils ont conclu que les valeurs obtenues pour le groupe ERV affichent un potentiel de risque plus faible d'augmentation des battements cardiaques que le groupe ERHI. La figure 1.1, compare les changements au niveau de la pression systolique et de la diastolique (mmHg) pour un même effort physique selon une condition ERV, ERHI (75 % 1-RM) et contrôle (20 % 1-RM). Les résultats montrent que les pressions systolique et diastolique sont beaucoup moins élevées sous la condition ERV et contrôle comparativement à la condition ERHI.

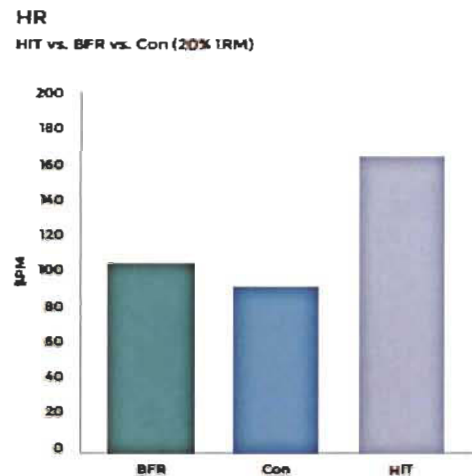
Pression artérielle FIGURE 1.1(Takano 2005)



Droits réservés ORS, Inc. 2016

Les auteurs ont également observé des changements au niveau de la fréquence cardiaque (bpm). L'ERV et le groupe contrôle ont utilisé les mêmes charges d'entraînement. Le groupe contrôle a exécuté les exercices sans restriction vasculaire. Les résultats montrent une fréquence cardiaque nettement inférieure pour les groupes ERV et contrôle comparativement au groupe ERHI qui utilisait des charges plus lourdes (figure 1.2)

Battements cardiaques FIGURE 1.2 (Takano 2005)



Droits réservés ORS, Inc. 2016

3.5 La douleur musculaire différée (DOMS)

Il est connu qu'une contraction excentrique entraînant un allongement des fibres musculaires contre la gravité crée davantage de dommage au niveau musculaire que l'entraînement concentrique (Nosaka et al., 2002). Bien qu'il existe plusieurs types d'entraînement, chacune des options choisies par les préparateurs physiques crée inévitablement des douleurs musculaires différées (DOMS) (Farias-Junior et al., 2019). En tenant compte des besoins spécifiques des joueurs de hockey, il est nécessaire de trouver une méthode d'entraînement alternative permettant aux joueurs de maintenir les habiletés physiques, sans affecter les performances requises quotidiennement sur la glace. Thiebaud et al., (2013) ont voulu comparer un entraînement en contraction concentrique utilisant l'ERV en comparaison à un entraînement qui utilise des contractions excentriques sans restriction vasculaire. Le protocole de répétition utilisé était celui préconisé par (Wilson et al., 2012) ; 30 répétitions suivi de 3 séquences de 15 répétitions, toutes entrecoupées d'une période de récupération de 30 secondes (30-15-15-15), pour la flexion des bras. Les premières 30 répétitions sont censées réduire le maximum d'oxygène disponible pour le muscle afin de tenter de fatiguer les fibres lentes et espérer solliciter les fibres rapides dans les séries subséquentes de 15 répétitions. La littérature suggère un protocole de 2-2-2 de mise sous tension musculaire, soit 2 secondes en régime de contraction excentrique, 2 secondes de repos et 2 secondes en régime concentrique (Loenneke et al., 2013). Il est

bien connu dans la littérature que les DOMS sont accentués par le travail en régime excentrique après 24 heures (Thiebaud et al., 2013). Suite à ce type d'entraînement, il faut généralement attendre une durée de repos de 72 heures avant de retrouver des valeurs initiales de la force musculaire (Wilson et al., 2012).

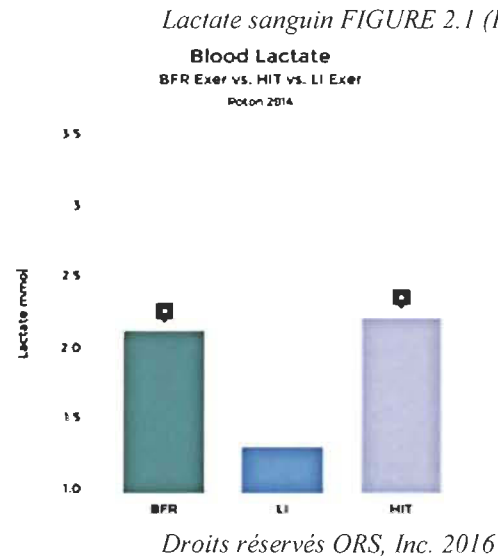
Nielsen et al., (2012), ont montré qu'il est possible de répéter l'ERV plusieurs fois au cours d'une même semaine puisque l'entraînement ERV ne tend pas à occasionner des DOMS dans un délai excédant les 24 heures. Ces derniers ont comparé un groupe ERV avec un groupe contrôle à l'exercice des extenseurs du genou, à raison de deux à trois par jour pour une durée de trois semaines. Les résultats de cette étude ont démontré une augmentation significative de l'ASM, ainsi qu'une augmentation de la force pour le groupe ERV comparativement au groupe contrôle. Cela est un des nombreux avantages de ce type d'entraînement, surtout pour une population sportive désirant conserver ses acquis sans affecter ses performances (Loenneke et al., 2013). Les joueurs de hockey qui sont en période de compétition ou de repos suite à une blessure auraient avantage à utiliser le ERV pour éviter le déconditionnement.

3.6 Les altérations et adaptations métaboliques de l'ERV

3.6.1 La lactatémie et l'ERV

L'utilisation de l'ERV a un impact non négligeable sur le métabolisme du corps. La cascade métabolique débute lors de l'initiation de l'occlusion. L'insufflation des brassards et la montée de pression qui s'ensuit a pour effet de diminuer l'apport en oxygène aux muscles sollicités et en aval. La restriction vasculaire proprement dite, ralentit le processus de retour veineux au cœur afin de réoxygéner le sang. Cela entraîne alors une privation en oxygène partielle aux muscles en action (Nordic et al., 2005). Cela fait en sorte que la glycolyse anaérobie serait plus sollicitée, ce qui serait indirectement observable par une augmentation de la lactatémie. Moritani et al., (1992) ont mentionné que l'accumulation de lactate était en lien avec le recrutement de nouvelles fibres musculaires. Même si l'ERV utilise des charges sous-maximales, cet entraînement diminue l'apport en oxygène aux muscles en réduisant le débit sanguin (Wilson et al., 2012). Poton et al., (2014) ont mesuré le niveau de lactate dans le sang en comparant l'ERV à 20 % du 1-RM, à l'ERHI

à 80 % du 1-RM et un entraînement sans restriction à 20 % du 1-RM. Les résultats de la figure 2.1 montrent une augmentation similaire du niveau de lactate dans le sang entre les groupes ERV et ERHI.



3.6.2 L'adaptation de la fibre musculaire avec l'ERV

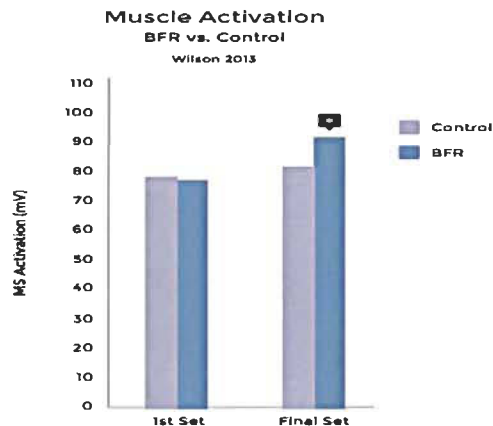
Tanimoto et al., (2008) ont utilisé des exercices d'extension des genoux pour expérimenter l'effet de la restriction vasculaire sur l'oxygénation musculaire selon différentes intensités d'entraînement mesurées par NIRS. Les auteurs ont expérimenté quatre modalités différentes d'entraînement ; des exercices de faible intensité avec ERV à 30 % du 1-RM, faible intensité en régime isocinétique à 50 % du 1-RM, faible intensité avec contraction isométrique à 50 % du 1-RM et finalement haute intensité à 80 % du 1-RM. Les résultats montrent qu'un plus grand volume de sang est observé dans le muscle pour le groupe ERV. L'effet d'occlusion créé par les brassards pourrait ainsi séquestrer les produits métaboliques dans l'environnement du muscle. Une fois la pression relâchée dans les brassards, le gradient de pression induit une hyperhémie sanguine dans le muscle et s'ensuit un gonflement des cellules musculaires. Ces changements de gradient de pression intra-extra cellulaire, déséquilibre l'homéostasie du muscle, le forçant ainsi à s'adapter. Ces altérations cellulaires faciliteraient la SP et l'hypertrophie de la fibre musculaire. De plus, l'hyper volumétrie cellulaire par l'augmentation du flux sanguin favoriserait la fusion

et la migration des cellules satellites accentuant aussi l'effet d'hypertrophie. La combinaison de ces facteurs serait additive (Loenneke et al., 2012).

3.6.3 L'activation musculaire induite par un environnement hypoxique via l'ERV

L'étude de Wilson et al., (2013) a mesuré l'activité musculaire par électromyographie (EMG) lors d'ERV. Ils ont comparé un groupe effectuant un exercice de développé des jambes en position assise avec l'ERV (30 % 1-RM) en comparaison à un groupe contrôle qui réalisait le même exercice, sans occlusion selon un régime de répétition 30-15-15-15 secondes. La figure 2.2, montre que lors de la dernière séquence de 15 répétitions, le groupe ERV démontrait une activation musculaire plus élevée que le groupe contrôle, suggérant un recrutement accru des unités motrices rapides.

Activation musculaire FIGURE 2.2 (Wilson 2013)



Droits réservés ORS, Inc. 2016

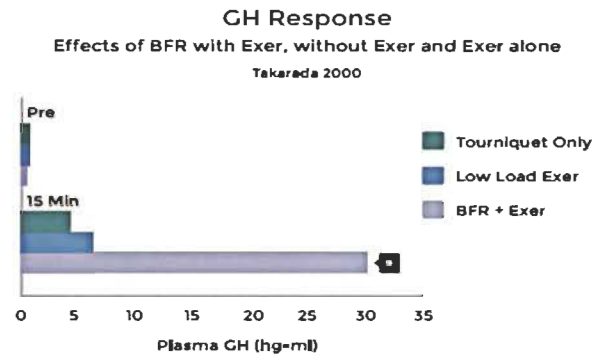
3.7 La réponse hormonale induite par l'ERV

3.7.1 L'hormone de croissance GH

Suite à un entraînement musculaire, le corps sécrète via l'hypophyse et le foie, divers types d'hormones et de métabolites. Cette réponse est significativement plus importante en condition d'ERV comme le montre l'étude de Takarada et al., (2000). La figure 3.1 montre la présence de l'hormone de croissance (GH) dans le sang selon différents groupes. La mesure de GH a été prise dix minutes post-exercice. Le groupe ERV montre la plus grande présence du GH contrairement au groupe réalisant un exercice de faible

intensité (EFI) et le groupe portant uniquement un brassard gonflé (Tourniquet only ou TO) n'effectuant pas d'exercice. Seule la condition ERV montre une augmentation significative de 279 % de la GH par rapport aux valeurs de bases.

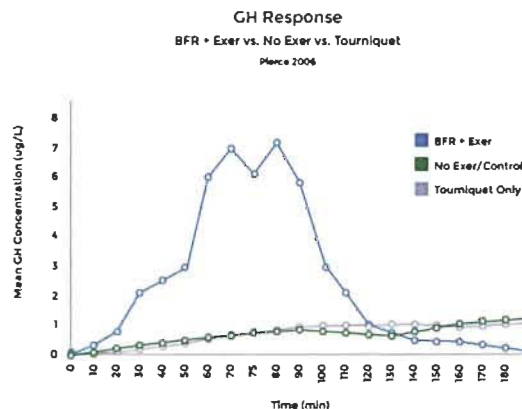
Présence de l'hormone de croissance FIGURE 3.1 (Takarada 2000)



Droits réservés ORS, Inc. 2016

La figure 3.2 montre les résultats obtenus par Pierce et al., (2006). Les chercheurs ont comparé les participants à eux-mêmes sur une période de trois jours. Chaque journée de mesure, les participants ont réalisé un entraînement différent. Le premier jour, les participants ont réalisé un entraînement ERV, le deuxième jour un EFI et le troisième jour, ils ont porté le brassard de l'ERV sans insufflation. La mesure de GH a été réalisée à chaque dix minutes à raison de 190 minutes au total. Les résultats montrent une hausse significative de la GH dans le sang pour le groupe ERV comparativement aux autres groupes.

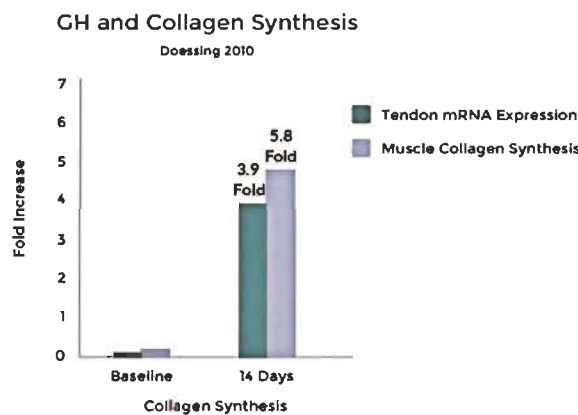
Présence de l'hormone de croissance FIGURE 3.2 (Pierce 2006)



Droits réservés ORS, Inc. 2016

Contrairement à la croyance populaire que la GH a un effet sur la masse musculaire, celle-ci, une fois sécrétée par l'hypophyse, joue plutôt un rôle de synthèse au niveau des structures de collagène et tendineuses dans le processus de guérison de blessure musculo-squelettique comme le rapporte l'étude de Doessing et al., (2010). L'étude Boessen et al., (2014) abonde dans le même sens, mentionnant que la GH accroît l'aire de surface des tendons et les rend plus solides. L'augmentation de la GH induite suite à l'ERV pourrait donc améliorer le processus de guérison (Wilson et al., 2013). La figure 3.3 montre les résultats chez des participants ayant eu recours à une injection de GH synthétique. Quatorze jours après l'injection, les participants montraient une augmentation de l'ARNm de l'hormone de croissance ainsi qu'une synthèse accrue du collagène musculaire.

Synthèse de collagène FIGURE 3.3 (Doessing 2010)



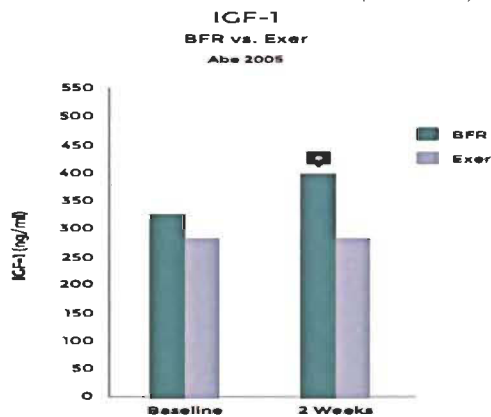
Droits réservés ORS, Inc. 2016

3.7.2 L'influence de l'IGF-1

C'est le foie qui va sécréter l'hormone de croissance nommée (IGF-1) ou facteur de croissance-I similaire à l'insuline (Clemens et al., 2004). L'ERV est non seulement bénéfique pour la performance, mais également pour la récupération et la santé des tissus en stimulant la migration de cellules musculaires satellites. Abe et al., (2005) suggèrent que les gains en force et de masse musculaire par ERV sont dus au processus de migration des cellules satellites musculaires induite par l'action de l'IGF-1. Les auteurs ont comparé différentes modalités d'entraînement, avec ou sans restriction vasculaire, sur les quadriceps, les biceps fémoraux et les grands fessiers, sur les gains en volume musculaire

ainsi que sur la concentration d'IGF-1. Sur une période de deux semaines, chaque participant a exécuté 3 séries de 15 répétitions à l'extension bilatérale des genoux ainsi qu'au squat, à raison de 14 entraînements au total. Les résultats de la figure 3.4 montrent que le groupe ERV a obtenu des gains moyens supérieurs au groupe contrôle de 7,7 %, 10,1 % et de 9,1 % de masse musculaire pour les quadriceps, les biceps fémoraux et les grands fessiers respectivement.

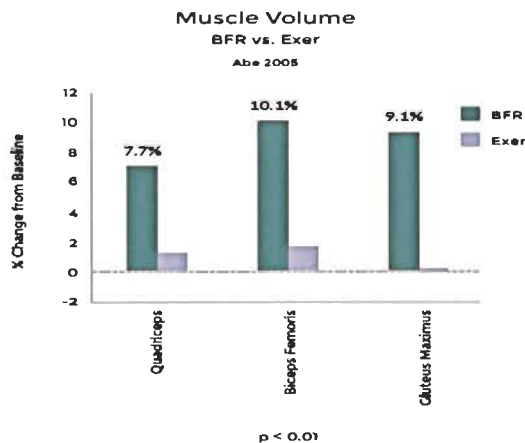
Présence d'IGF-1 FIGURE 3.4 (Abe 2005)



Droits réservés ORS, Inc. 2016

La figure 3.5 montre l'évolution de la concentration d'IGF-1 dans le groupe ERV et le groupe contrôle suite aux deux semaines d'entraînement. Seul le groupe ERV a augmenté significativement la présence de l'IGF-1 aux deux semaines de l'étude.

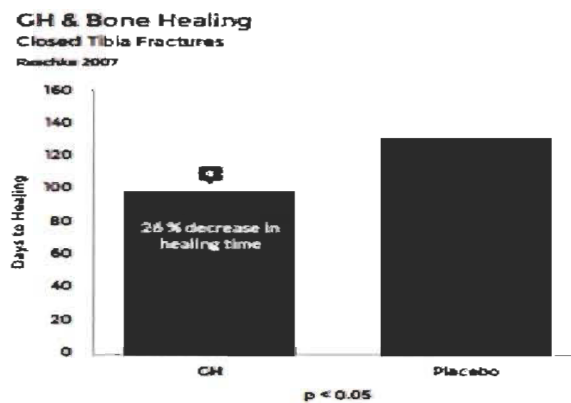
Volume musculaire FIGURE 3.5 (Abe 2005)



Droits réservés ORS, Inc. 2016

Un autre avantage de l'action de l'IGF-1 sur le corps est l'augmentation de la rapidité de la réparation des tissus osseux. Raschke et al., (2007) ont utilisé cette hormone comme traitement expérimental à la suite d'une fracture tibiale chez de jeunes patients. La figure 3.6 montre que les participants ont vu leur temps de guérison diminué de 26 % contrairement à un groupe qui a reçu un placebo. Il est donc plausible qu'un entraînement ERV soit en mesure de diminuer le temps de guérison suite à une fracture chez un athlète. Ce qui permettrait de revenir au jeu plus rapidement.

Présence de GH FIGURE 3.6 (Raschke 2007)



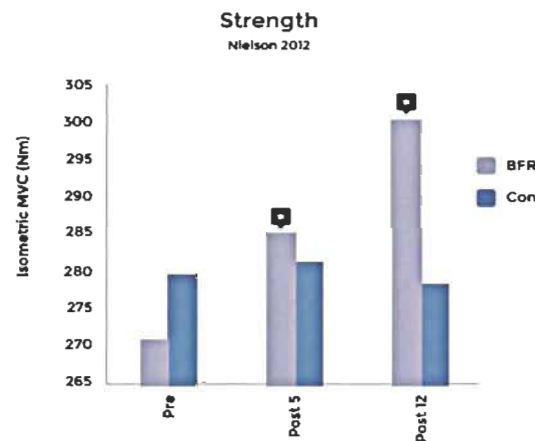
Droits réservés ORS, Inc. 2016

3.7.3 Les cellules satellites

Nielsen et al., (2012) ont d'ailleurs confirmé par la suite la théorie de Abe et al., (2005) mentionnée plus haut, selon laquelle l'augmentation de l'IGF-1 active la prolifération de cellules satellites. Les cellules satellites seraient alors plus facilement transportées à l'aide de l'IGF-1 au muscle pour créer un nouveau myocyte. Nielsen et al., (2012), ont voulu observer les liens possibles entre la prolifération des cellules satellites et la force musculaire. À l'aide d'un protocole d'entraînement de trois semaines, les auteurs ont comparé un groupe ERV à un groupe contrôle utilisant une charge de 20 % du 1-RM. L'exercice choisi lors du protocole de l'étude consistait à réaliser une contraction musculaire volontaire unilatérale d'extension des genoux. Les participants ont réalisé 4 séries de 15 répétitions entrecoupées de 30 secondes de repos entre les séries. La figure 3.7 montre les résultats aux trois différentes prises de mesure de la force de contraction

isométrique maximale volontaire. Le groupe ERV étant significativement supérieur à la 5^e et la 12^e semaine.

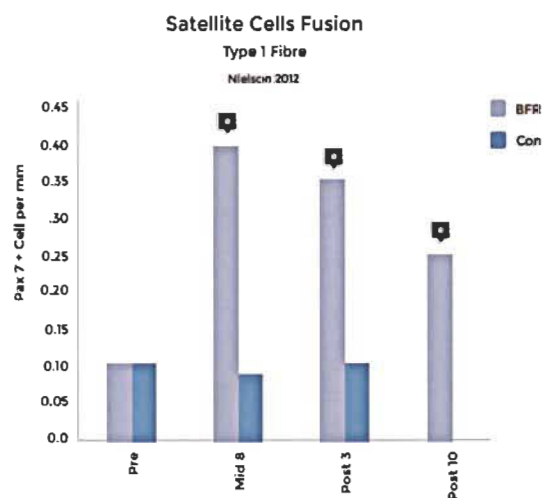
Force musculaire FIGURE 3.7 (Nielsen 2012)



Droits réservés ORS, Inc. 2016

Via la biopsie musculaire, les auteurs ont trouvé que suite à une contraction volontaire maximale isométrique, le groupe ERV a significativement augmenté la prolifération des cellules satellites dans les fibres de types I et II comparativement au groupe contrôle. La figure 3.8 montre la prolifération des cellules satellites musculaires pour les fibres de type I selon quatre temps de mesure. Le groupe ERV montre une prolifération significativement plus élevée à la moitié du protocole, à la 3^e semaine post entraînement ainsi qu'à la 10^e semaine post entraînement.

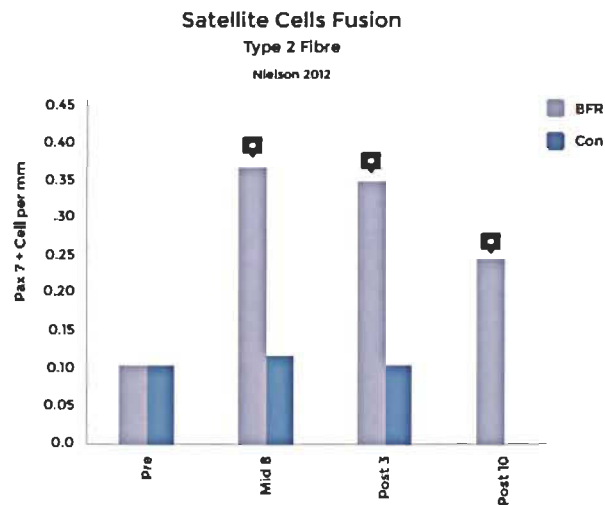
Présence de cellules satellites fibres de type I FIGURE 3.8 (Nielsen 2012)



Droits réservés ORS, Inc. 2016

La figure 3.9 montre la prolifération des cellules satellites pour les fibres de type II selon quatre temps de mesure. Le groupe ERV montre une prolifération significativement plus élevée à la moitié du protocole, à la 3^e semaine post entraînement ainsi qu'à la 10^e semaine post entraînement.

Présence de cellules satellites fibre type 2 FIGURE 3.9 (Nielsen 2012)

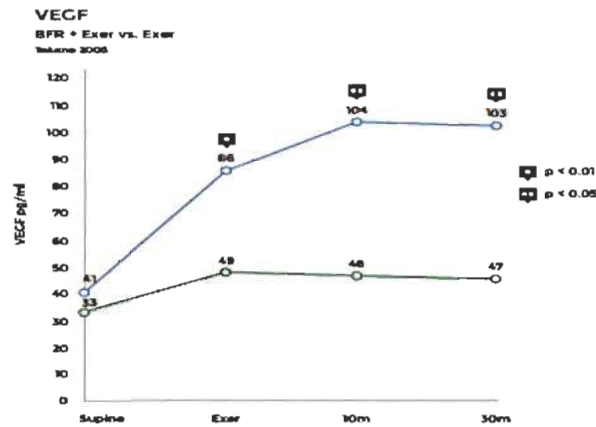


Droits réservés ORS, Inc. 2016

3.8 Le facteur VEGF

Le facteur de croissance de l'endothélium vasculaire (VEGF) est également impliqué dans la diminution du temps de guérison ainsi que dans l'amélioration de l'endurance musculaire (Deasy et al., 2009). L'ERV induit un état hypoxique musculaire et la présence de lactate dans le sang accroît l'expression de VEGF amenant une augmentation subséquente du nombre de vaisseaux sanguins comme le mentionne Hunt et al., (2008). Cet effet est principalement présent dans les os suite à une fracture (Schipani et al., 2009). Takarada et al., (2005) ont montré que suite à un ERV, l'expression du facteur VEGF est significativement plus abondant dans le sang comparativement à un groupe contrôle. La figure 4,1 montre que la présence de VEGF est significativement supérieure chez le groupe ERV (BFR + Exer.) que chez le groupe contrôle (Exer.). La prolifération du nombre de vaisseaux sanguins qui entourent les fibres musculaires favoriserait le métabolisme et l'aptitude aérobie.

Présence de VEGF FIGURE 4.1 (Takarada 2005)

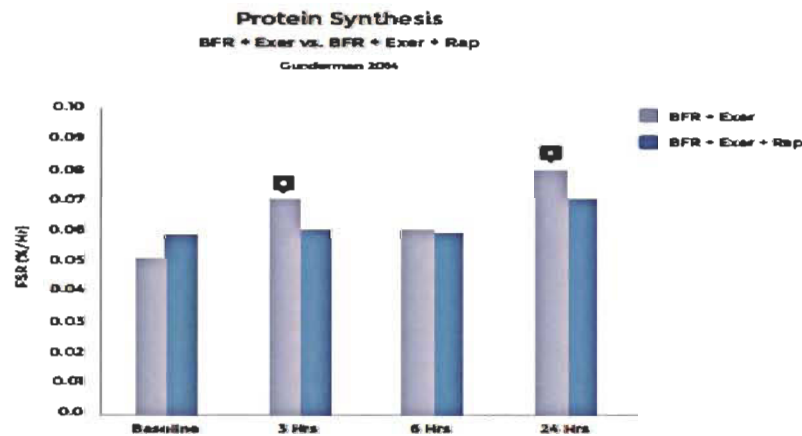


Droits réservés ORS, Inc. 2016

3.9 Le mTORC

Selon Bickel (2005), pour augmenter la masse musculaire d'un individu, il faut que la synthèse protéique soit plus importante que la dégradation pour obtenir un bilan positif. Afin d'augmenter la synthèse protéique, l'activité de la voie signalétique cellulaire de la mTORC doit être effective. Gunderman et al., (2014) ont montré que l'ERV avait pour effet d'augmenter le complexe mTORC et la synthèse protéique. Pour ce faire, ils ont comparé deux groupes qui exécutaient de l'ERV avec ou sans injection de rapamycine (RAP). La RAP est un inhibiteur de la mTORC qui limite la synthèse protéique. Les auteurs ont observé que la Rap entraînait une diminution de la synthèse protéique post-exercice, suggérant ainsi que l'ERV stimule le complexe mTORC comme le montre la figure 5.1.

Synthèse protéique FIGURE 5.1 (Gunderman 2014)



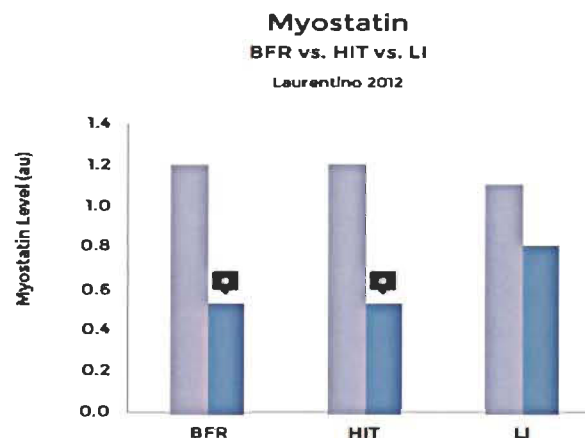
Droits réservés ORS, Inc. 2016

Selon les auteurs, comme l'activation de la voie mTORC entraîne la SP, son augmentation suite à l'ERV permettrait de potentialiser les gains en hypertrophie au même titre que l'ERHI.

3.10 La myostatine

La myostatine est un facteur de croissance qui limite la croissance musculaire, c'est-à-dire que si cette dernière est activée, le potentiel d'hypertrophie est diminué (Wagner., 2013). Laurentino et al., (2012) ont comparé l'ERHI (80 % 1-RM), le ERV (20 % 1-RM) ainsi qu'un groupe contrôle (20 % 1-RM) sans restriction, afin comprendre l'implication de la myostatine suite à un entraînement. Suite à un programme de renforcement des cuisses de huit semaines utilisant l'extension des genoux, les chercheurs ont mesuré le niveau de myostatine présent dans le muscle comme le montre la figure 6.1. Il observent que la présence de myostatine est significativement moins importante dans les groupes ERHI et ERV contrairement au groupe contrôle.

Présence de myostatine FIGURE 6.1 (Laurentino 2012)



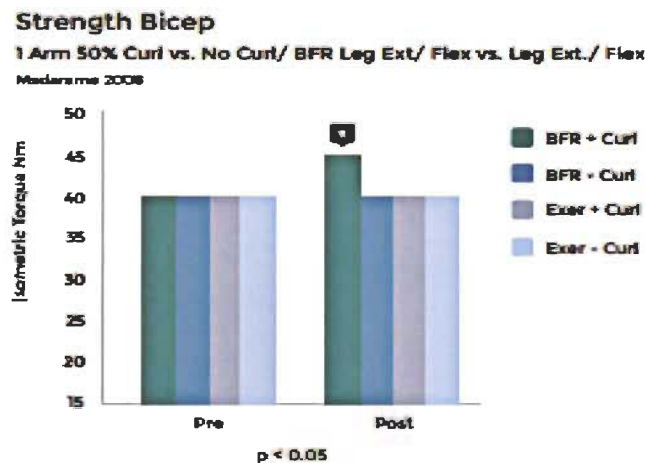
Droits réservés ORS, Inc. 2016

Ces résultats montrent que l'ERV est un moyen d'obtenir des effets similaires physiologiques au ERHI avec des charges moins importantes (Yamanaka 2012, Cook., 2014).

3.11 L'effet systémique de L'ERV

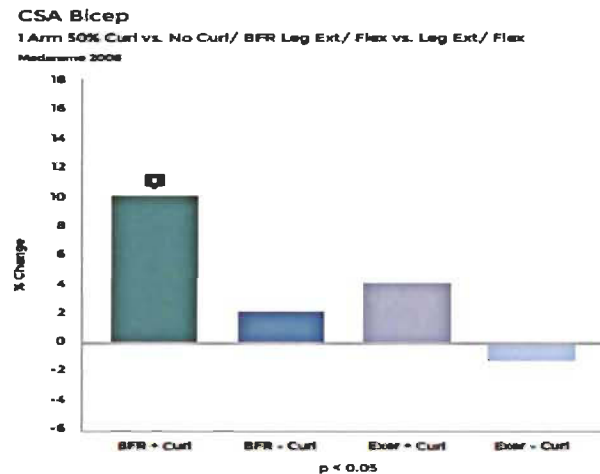
L'ERV est reconnu pour avoir un effet systémique sur le corps. Comme ce type d'entraînement entraîne la sécrétion de différentes hormones dans le corps, on peut supposer que ses effets ne seront pas seulement spécifiques sur le muscle, mais aussi sur différentes structures du corps humain. Madarame et al., (2008) ont étudié les effets de l'ERV d'une flexion du coude unilatérale à 50 % du 1-RM en comparaison à un groupe contrôle. Les deux groupes, ERV et contrôle ont d'abord effectué les exercices d'extension et de flexion des genoux avant d'effectuer l'exercice de flexion du coude. Le groupe ERV est le seul à avoir utilisé la restriction vasculaire lors de l'extension et de la flexion des genoux. L'objectif étant de mesurer l'impact de l'entraînement ERV au niveau systémique, les chercheurs ont donc mesuré l'effet sur le biceps seulement, suite à l'occlusion au niveau des membres inférieurs. Les résultats montrent que seul le groupe ERV a obtenu un gain significatif au niveau de l'ASM et de la force du biceps (flexion du coude). En résumé, la flexion du coude n'ayant pas été effectuée sous occlusion dans aucun groupe, l'effet de l'ERV au niveau des jambes a tout de même entraîné un effet bénéfique sur l'augmentation de l'ASM au niveau du biceps ainsi qu'au niveau de sa force musculaire. Les résultats prouvent qu'il y a un effet systémique comme le montre la figure 7.1 de l'étude de Madarame et al., (2008). L'effet significatif révélé par cette figure montre que seul le groupe ERV avec flexion du coude sans occlusion a démontré une amélioration significative de la force isométrique.

Force du biceps FIGURE 7.1 (Madarame 2008)



La figure 7.2 montre un effet significatif pour le groupe ERV suite à la flexion du coude sans occlusion ainsi qu'une augmentation significative de l'ASM du biceps.

Coupe transversal du biceps FIGURE 7.2 (Madarama 2008)



Droits réservés ORS, Inc. 2016

Le fait d'intégrer des entraînements ERV pour les joueurs de hockey serait une option à considérer afin de conserver la force et la masse musculaire des joueurs en saison de compétition. Ce type d'entraînement permettrait possiblement, selon la théorie de l'effet systémique, d'obtenir un effet sur les autres muscles entraînés quotidiennement.

3.12 La sécurité de l'ERV

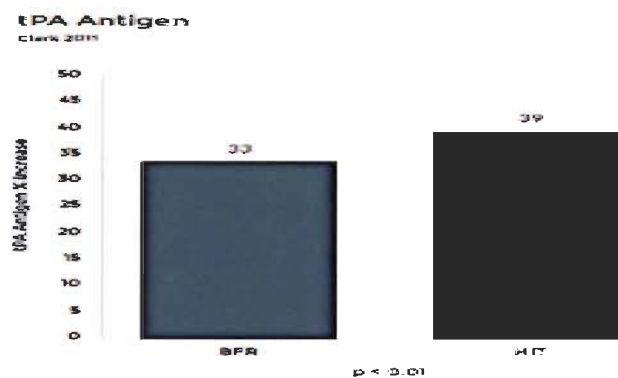
Cette méthode d'entraînement peut sembler non-conventionnelle par les personnes ne connaissant pas la théorie sous-jacente à celle-ci. Selon Wakai et al., (2001), il est nécessaire de consulter un professionnel de la santé avant d'entreprendre un tel type d'entraînement, d'autant plus si le participant est diagnostiqué avec une condition médicale particulière. Cependant, une personne en bonne santé ne court aucun risque à pratiquer l'ERV dans des conditions contrôlées par un professionnel de la santé (Clark et al., 2011)

3.12.1 Thrombose

Les personnes ayant déjà été diagnostiquées avec une thrombose veineuse sont considérées comme étant une population plus à risque pour ce genre d'entraînement. À l'insufflation des brassards, ces derniers créent une restriction vasculaire, mais cela

n'augmente pas le risque de thrombose lorsqu'ils sont utilisés pour une courte période de temps (Noordin et al., 2009). Madaram et al. (2010) ont étudié le phénomène de restriction vasculaire combiné à l'exercice, ils n'ont trouvé aucun marqueur pouvant potentiellement générer un risque de thrombose ou de formation de caillot sanguin. De plus, Clark et al., (2011) ont comparé la réaction physiologique entre un ERHI vasculaire comparativement à l'ERV. Ils ont mesuré l'impact du système fibrinolytique via la tPA, une enzyme présente dans le sang réduisant le risque de formation de caillot sanguin. La figure 8.1 illustre la présence de tPA dans le sang suite à un entraînement pour une condition ERV et une condition ERHI. On remarque que la tPA est présente en quantité similaire dans les deux groupes, alors que la charge utilisée dans le groupe ERHI est supérieure.

Présence de tPA FIGURE 8.1 (Clark 2012)



Droits réservés ORS, Inc. 2016

Les auteurs ont conclu que les deux types d'entraînement n'augmentent pas le risque de développer une thrombose puisque l'enzyme tPA augmente significativement dans les deux cas suite à l'exercice. Ces propos abondent dans le même sens que Nakajima et al., (2007) qui ont noté aucune augmentation de marqueur de thrombose et une augmentation significative de la tPA suite à une séance ERV.

3.13 L'ERV et son potentiel pour les joueurs de hockey

3.13.1 Les avantages de l'ERV pour les joueurs de hockey

La littérature mentionne que pour obtenir des gains en hypertrophie, un athlète doit travailler avec une charge d'entraînement de 70 % et plus de son 1-RM (Stand et al., 2009).

Comme le principal avantage de l'ERV est l'obtention de gains similaires à l'ERHI avec une charge de 20-30 % de son 1-RM (Wilson et al., 2013), la faible charge utilisée entraînerait moins de dommage aux fibres musculaires. Puisque l'ERV est moins enclin à développer des DOMS, contrairement à un entraînement à l'ERHI (Loeneke et al., 2014), les joueurs de hockey pourraient en bénéficier en période de compétition afin d'éviter le déclin en fonction musculaire. Ils pourraient donc profiter d'une fréquence d'entraînement supérieure avec l'ERV, dans le but de conserver leurs acquis sans subir les effets de DOMS qui prennent en moyenne 72 heures à se résorber (Nielsen et al., 2012). L'utilisation d'une charge plus légère a également l'avantage de réduire le stress sur les articulations et, par le fait même, diminue le risque de blessures causées par l'usure des cartilages. À notre connaissance, la littérature ne rapporte aucune étude en phase de compétition chez les joueurs de hockey utilisant la méthode ERV. Comme il est rapporté dans la littérature, les joueurs de hockey perdent de la masse musculaire et la force et la puissance tendent à diminuer au cours de la saison, compte tenu du haut volume d'entraînement technique et aérobie (joutes, entraînements sur glace et autres entraînements physiques) (LaStayo et al., 2003). Le travail musculaire plus intensif est plus adéquat à intégrer lors des phases sans compétition dans une planification annuelle puisque les athlètes ont suffisamment de temps pour récupérer entre les entraînements hors glace. Le but d'inclure la méthode ERV à la phase spécifique de compétition vise à stimuler le facteur hypertrophique du muscle tout en permettant à l'athlète de performer dans son sport sur la glace sans ressentir les effets négatifs de surcharge reliés à l'entraînement intensif.

3.13.2 Les avantages de l'ERV pour la réadaptation et le maintien des capacités athlétiques

De plus, l'ERV peut également servir à accélérer le processus de réadaptation suite à une blessure et favoriser une récupération rapide au niveau musculaire (Hughes et al., 2019). Une autre application intéressante de l'ERV s'effectue au niveau de l'adaptation cardiovasculaire, en rehaussant la puissance aérobie (Park et al., 2010). Les données répertoriées dans la littérature constituent des pistes intéressantes à explorer auprès de différentes populations athlétiques en phase de compétition. L'ERHI serait beaucoup moins adapté pour les hockeyeurs en phase de compétition, c'est pourquoi des alternatives

innovantes sur les méthodes d'entraînement devront être initiées pour améliorer la performance et prévenir les blessures.

IV. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'objectif général de cette étude est d'expérimenter la méthode d'entraînement ERV en comparaison à un ERHI sur l'anthropométrie et la fonction musculaire pendant la phase de compétition chez des hockeyeurs universitaires.

Nous émettons les hypothèses suivantes :

1. L'ERV permet de préserver la puissance des membres inférieurs et supérieurs entre le début de saison et la mi-saison compétitive chez des joueurs de hockey sur glace universitaire.
2. L'ERV permet de préserver la force musculaire entre le début de saison et la mi-saison chez des joueurs de hockey sur glace universitaire.
3. L'ERV permet de préserver la composition corporelle à l'aide de mesures anthropométriques entre le début de saison et la mi-saison compétitive chez des joueurs de hockey sur glace universitaire.

Ce projet vise à mesurer quantitativement les effets de l'ERV sur la fonction musculo-squelettique via des tests de performance hors glace et la composition corporelle via des mesures anthropométriques. Il vise aussi à approfondir les connaissances en science du sport sur l'utilisation de l'ERV en performance sportive. Ce projet permettra également de modifier l'approche des préparateurs physiques et des entraîneurs dans la planification annuelle des entraînements pour divers sports.

V. PRÉSENTATION DE L'ARTICLE

Effects of an eight-week blood flow restriction training program on athletic performance tests during a competitive phase in men's varsity hockey players.

Lajoie, C., Nadeau, D-A., (2021).

ABSTRACT

Purpose: To examine the effects of an eight-weeks blood flow restriction training (BFR) program during a hockey competitive phase in men's varsity ice hockey players (HP).

Methods: Twenty-two male hockey players (HP) were randomized to a lower and upper body BFR intervention. The BFR group trained with a load corresponding to 20-30 % of their maximal voluntary contraction (1-RM). The control group trained without occlusion with the same exercises and comparable workloads (kg) with high intensity training (HIT) at 75 % of 1-RM. Athletes underwent two times physical tests before and after both training program. Athletic performance was measured by executing 1-RM squat and bench press tests. Speed-endurance was measured by 5 repeated 20-meter sprints. Leg power was measured by countermovement jump (CMJ) and long-distance jump (LDJ). Exercise training sessions were performed 3 times a week, with 4 sets of 30-15-15-15 repetitions and a 30-second rest between sets (BFR) and 4 sets of 12-15 reps with 45 seconds of rest between sets (control). Both groups did the same exercise program from the start of the season to mid-season. **Results:** Respectively, greater improvements were observed for the BFR group compared to the control group for the bench press ($0.28\text{kg} \pm 7.84\text{ kg}$ vs $-9.13\text{ kg} \pm 2.58\text{ kg}$), squat ($0.90\text{ kg} \pm 14.22\text{ kg}$ vs $-9.38\text{ kg} \pm 1.95\text{ kg}$), maximum sprint time ($-0.28\text{ sec} \pm 0.19\text{ sec}$ vs $-0.09\text{ sec} \pm 0.07\text{ sec}$), leg power CMJ ($1.68 \pm 7.99\text{ cm}$ vs $-0.84 \pm 3.17\text{ cm}$), and long jump ($1.25 \pm 3.58\text{ cm}$ vs $-1.46 \pm 2.08\text{ cm}$). Significant loss in fat percentage was also observed but only in the BFR group ($-2.16\% \pm 1.38\%$ vs $-1.81\% \pm 0.22\%$). Bodyweight (kg) dropped in both groups despite being significant ($-1.61\text{ kg} \pm 0.27\text{kg}$ vs $-0.72 \pm 0.55\text{ kg}$). **Conclusions:** The use of blood flow restriction training (BFR) program during a competitive hockey season can maintain and improve off ice physical abilities in HP. This type of training can prevent loss in strength and power during the course of the competitive season. The BFR program also improves the average running time speed from start to mid-season in elite HP.

Keywords: blood-flow restriction (BFR), Hockey performance, Physiological adaptation of ice hockey players.

INTRODUCTION

Ice hockey is a physical sport that requires all around athletic abilities to perform at high levels. Physical demands such as power, strength, speed and endurance are required to achieve professional level. From a metabolic standpoint, ice hockey requires both aerobic and anaerobic energy to sustain the high pace of the game (Durocher et al., 2008). In the early 1990s, authors became interested in ice hockey physiology to have a better understanding of the athletic parameters influencing their performance (Mascaro et al., 1992). At that time, their findings contributed to the identification of some concerns about on-ice and off-ice practices (Montgomery et al., 2006; Astorino et al., 2004). Some suggested that practices and games played were not sufficiently intense to provide physiological challenges to maintain or improve fitness (Gonzalez et al., 2013). Moreover, many ice HP complained of "heavy legs" in the late part of the season. At that time, "heavy legs" syndrome was perceived by many players to be a consequence of overtraining. Cox and colleagues (1995) suggested that it might be due to under-training and not over-training. They showed that games and practices, no matter what their intensity levels, were not enough to provide physiological adaptations that could improve the fitness levels of elite HP. Therefore, players' loss strength and power throughout their hockey season.

In order to improve conditioning among their players, sports team coaches added technical, tactical, and sport-specific types of trainings. Even if there are a lot of options regarding ice hockey training, there is no consensus to this date on what training is ideal for HP during the competitive phase in order to maintain athletic abilities. Helland et al., (2017) recently looked at the effects of different types of training such as Olympic weightlifting, motorized strength and power training (MSPT), and free weight strength and power training (FSPT). Results show that MSPT and FSPT are the two types of training that can have an impact on athletic performance after an 8-week protocol (2-3x per week). Unfortunately, all of these types of training have a counterpart, one of them being delayed onset muscle soreness (DOMS). Athletic trainers may now have a new alternative. In the last decade, research on blood flow restriction (BFR) acquired knowledge from readaptation practices, nowadays research tends to the aspect of performance optimization. In the literature, BFR has shown lots of benefits on physical performance (Cook et al.,

2014; Abe et al., 2010). This type of training regimen uses partial restriction of the blood flow on proximal limbs as an advantage to improve skeletal muscle performance like strength, power and endurance ($\text{VO}_2 \text{ max}$). The essence of BFR resides in the sub-maximal loads (20-30 % 1-RM) that athletes lift in order to obtain these specific athletic abilities (Loenneke et al., 2012). Some studies were conducted in other team sports, such as basketball (Park et al., 2010) and rugby (Cook et al., 2014) and football (Yamanaka et al., 2012).

In recent years, professional teams invested lots of funds to develop fitness and skills in their athletes by hiring off-ice training specialists. Delisle-Houde et al., (2019) recently studied the effects on the muscular physiology before and after a hockey season. They found that the muscle tends to atrophy during the season. They also observed aerobic improvement in the muscle. To maintain efficient Type II muscle fibers, player needs to have off-ice training during their competitive season in order to maintain their strength, power and overall performance. Reports from physiotherapists shows that patients are healing quicker than expected with BFR (Loenneke et al., 2013). From what we can learn from the theory behind BFR training, HP might benefit by using BFR training during the season to help maintain or improve their anaerobic fibers and physical abilities such as skating, lower and upper body strength (Loenneke et al., 2012). The physiological mechanisms involved behind the BFR training are not fully understood to date. Nonetheless, scientific literature show that Myostatin, mTORC, VEGF, IGF-1, satellite cells, lactate, muscle activation, heart rate (HR) and blood pressure (BP) are all involved in the process. The acidic environment created in the muscle by BFR training leads to a cascade of events within a hypoxic environment. All these alteration leads to a gain in CSA, strength and power. Factors like HR and BP may be responsible for the improvements in the aerobic capacities. More research is still needed in order to have a better understanding regarding the influence of all those physiological factors. To our knowledge, no BFR training study with ice HP during a competitive season phase, has yet been conducted.

The purpose of this investigation was to assess the effects of a BFR training during the competitive ice hockey season on skeletal muscle performance. According to the BFR

literature, this type of training suggests that low load training with occlusion might be able to prevent loss in skeletal muscle mass, maintain strength, power, speed and performance for HP.

METHODS

Subjects

The experiment was conducted on 22 active healthy subjects of a men's varsity ice hockey team (11 forwards, 9 defencemen 2 goalies). Although participants were physically active, none of them were involved previously in specific strength training program. Participants took part to an 8-week training plan including 3 off-ice training sessions, 3 on-ice weekly sessions, including 1 to 2 games per week during the protocol. Both groups were assessed the same training protocol for exercises but the repetition scheme was different for each group. Nonetheless, total volume lifted in kilograms (kg) was the same for both groups. Participants were fully informed about the experimental risks and signed a consent form prior to the study. All participants were met to explain the purpose of the study and to provide additional information. Approval for the project was obtained from the local Ethics Committee, and each subject signed an informed consent document prior to their enrolment in the study (CER-18-246-07.01).

Testing

Prior to the athletic test measurements, participants were familiarized to BFR and monitored with a doppler device (foetal doppler ToronTek-R88, Toronto, Canada) in order to obtain the ideal personalised pressure, based on BFR literature (McEwen et al., 2019). Physical tests conducted prior to the training regimen for both groups were; 1-RM bench press and squats, CMJ and long jump and repeated 20 meters sprints (5). Sprint measurement was obtained with an electronic timing system (Brower timing system, Draper UT, USA). The subjects were then randomly distributed within two groups. Total volume lifted and the intensity of the training were predetermined to be equal in both groups (Folland et al., 2008). Each subject was tested once prior to the training protocol at the start of the season and once again at the end of the training program.

Exercise modalities

Protocol was conducted for a period of 8 weeks and the exercises were performed in the weight room. Players followed two types of full-body training. Exercises were prescribed for lower body and upper body, including abdominal training. Lower body exercises included Smith machine squats, leg press, leg extension, leg curl and split squats. Upper body exercises included incline Smith machine bench press, flys, lat pull-downs, chin-ups, dips and lateral raises. Abdominal exercises included planks, mountain climbers, crunches, and TRX complex routine. Each and every exercise performed for both groups had the same parameters to respect, except for the repetition scheme. Each training lasted 45 minutes and were supervised by the team's strength coach. The BFR group did the exercises with occlusion cuffs and control group trained without occlusion. The training protocol also included sports specific compound movement and some isolation exercises. The BFR group repetition scheme was 30-15-15-15 reps as recommended by Wilson et al., (2013). There was 30 seconds of rest between each set. The control group did the same exercise with a 10-12 repetitions scheme. There was 45 seconds of rest between each set. The BFR group trained with pressure adjustment representing 80 % of the total occlusion for legs and 50 % for arms. Each player of the experimental group used suggested pressure in the cuffs (Modern Manual Therapy 2x cuffs for legs and 2x for arms) previously determined by initial measurements with a doppler (McEwen et al., 2019). At the end of an exercise, both groups rested 3 minutes before moving to another exercise.

Statistical Analyses

Two-way ANOVA with repeated measures on the second factor was conducted with Excel to confirm change over time in each condition separately. Distributions for each variable were assessed for normality. All data are presented as means +/- SEM. Significance was accepted at $p < 0.05$ values.

RESULTS

Differences in bodyfat percentage and body weight values between groups

Results show that bodyfat percentage significantly decreased by -1.78 % (-2.16 % \pm - 1.38 %) in the BFR group compared to -0.79 % (-1.81 % \pm 0.22 %) for the control group (Fig.9.1). Bodyweight decreased significantly ($p < 0.05$) more in the BFR group by -0.77% (-1.61 kg \pm 0.27 kg) whereas the control did not change significantly -0.1% (-0.72 kg \pm 0.55 kg) after 8 weeks (Fig. 9.2). In summary, both training program helped reduced fat percentage ($F_{1,23}=25.67$, $p<0.05$), and bodyweight ($F_{1,22}=2.22$, $p<0.05$), nonetheless the effect in the BFR group was significantly higher in both conditions.

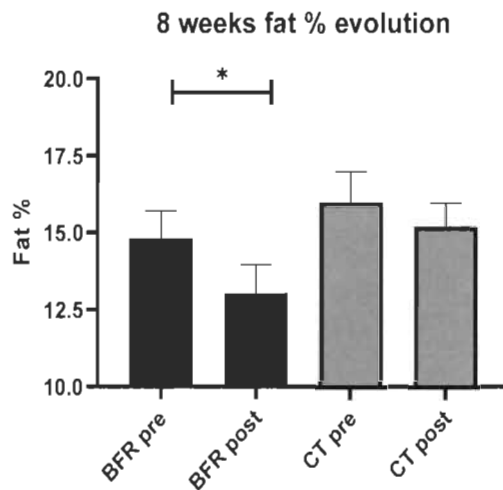


Figure 9.1 Mean \pm SEM changes between pre- and post-training for the BFR (black bars) and the Control (CT, gray bars) groups. * Significantly different from the CT group ($p < 0.05$).

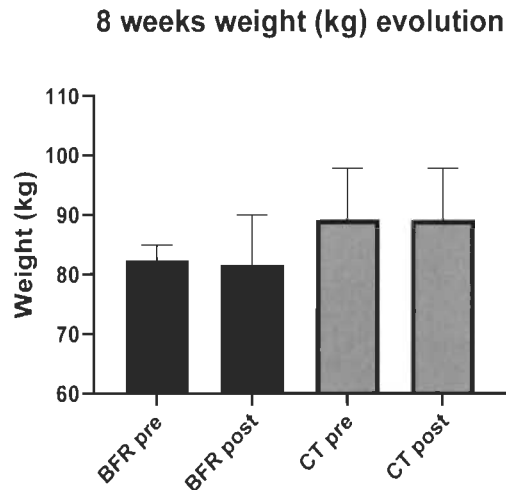


Figure 9.2 Mean \pm SEM changes between pre- and post-training for the BFR (black bars) and the Control (CT, gray bars) groups.

Sprint test

The repeated sprint test on a 20-meter track shows a significant ($p < 0.05$) decrease in time for the BFR group, lowering their mean sprint time by -7.8 % ($-0.28 \text{ sec} \pm -0.19 \text{ sec}$) compared to the control group that slightly decreased their overall sprint time -0.33 % ($-0.09 \text{ sec} \pm 0.07 \text{ sec}$) (Fig. 10.1). The average sprint time observed between groups was 3.13 seconds for the BFR group and 3.35 seconds for the control group. In summary, both conditions improved their performance at the repeated sprint test at the end of their training program. Nonetheless, the BFR group showed a better improvement than the control group ($F_{1,23}=38,90$, $p<0,001$).

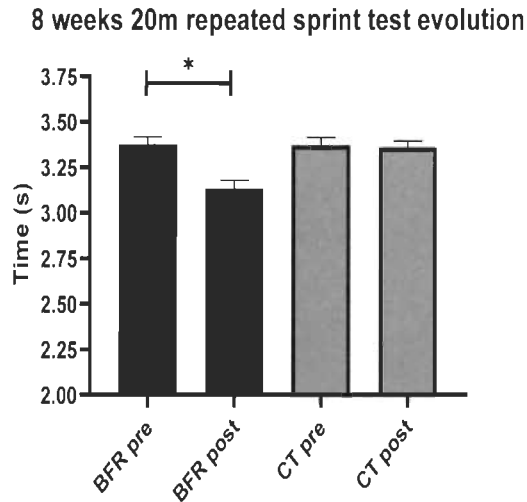


Figure 10.1 Mean \pm SEM changes between pre and post training for the BFR (black bars) and the Control (CT, gray bars) groups. * Significantly different from the CT group ($p < 0.05$).

Strength

Both groups underwent squat and bench press tests to measure upper and lower body strength. The BFR group show a significant increase in strength ($p < 0.05$) averaging +4.61 % ($0.90 \text{ kg} \pm 14.22 \text{ kg}$) on the squat test after the training regimen. The control group show a loss in strength ($p < 0.05$) averaging -4.04 % ($-9.38 \text{ kg} \pm -1.95 \text{ kg}$) on squat test (Fig. 11.1). Results from the bench press test show a significant ($p < 0.05$) increase in strength in the BFR group averaging +3.39 % ($0.28 \text{ kg} \pm 7.84 \text{ kg}$), whereas the control group showed a significant ($p < 0.05$) decrease in strength of - 5.5 % ($-9.13 \text{ kg} \pm -2.58 \text{ kg}$) at the bench press test after the training regimen. (Fig. 11.2). In summary, the BFR group showed an improvement in strength following the training protocol for the squat test ($F_{1,22} = 0.29$, $p < 0.001$) and for the bench press test ($F_{1,21} = 0.63$, $p < 0.001$). as the control group showed a decrease in performance.

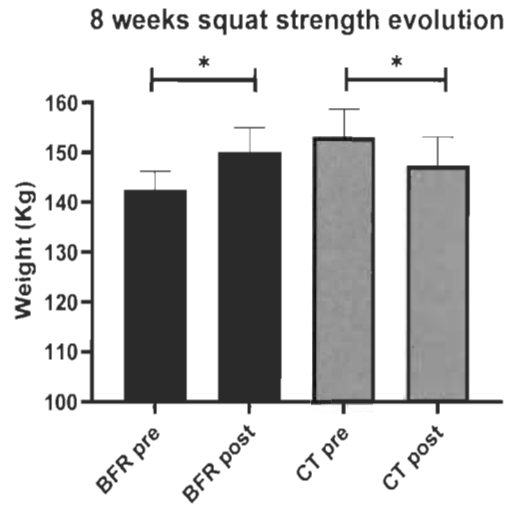


Figure 11.1 Mean \pm SEM changes between pre- and post-training for the BFR (black bars) and the Control (CT, gray bars) groups. * $p < 0.05$

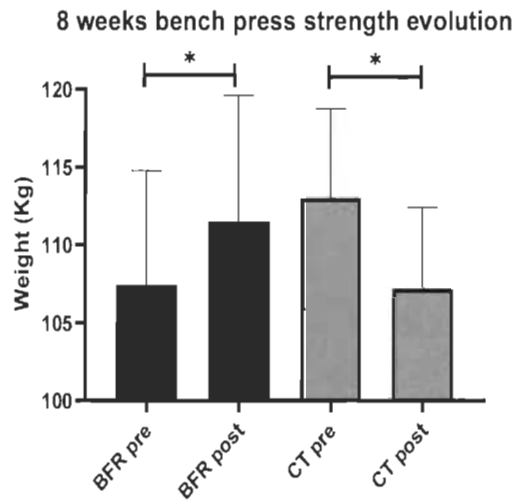


Figure 11.2 Mean \pm SEM changes between pre- and post-training for the BFR (black bars) and the Control (CT, gray bars) groups. *Show significant difference in both groups ($p < 0.05$)

Power

Figure 12.1 show the relative performance for the countermovement jump (CMJ). The BFR group show a significant ($p < 0.05$) increase in power of +6.74 % at the CMJ test ($+1.68 \text{ cm} \pm 7.99 \text{ cm}$). The control group also show an increase in leg power that is not significant of +1.99 % ($-0.84 \pm 3.17 \text{ cm}$). Figure 12.2 show the relative performance in the LDJ test. The BFR group show a significant ($p < 0.05$) increase of + 0.92 % in leg power ($1.25 \text{ cm} \pm 3.58 \text{ cm}$) as compared to the control group that show a slight increase of +0.11 % in leg power ($-1.46 \text{ cm} \pm 2.08 \text{ cm}$). In summary, the BFR group showed a better improvement in lower body power than the control group following the training protocol for the CMJ test ($F_{1,22} = 12.46$, $p < 0.05$) and the LDJ test ($F_{1,23} = 7.78$, $p < 0.05$). Nonetheless, the control group also showed a slight increase in performance despite being significant.

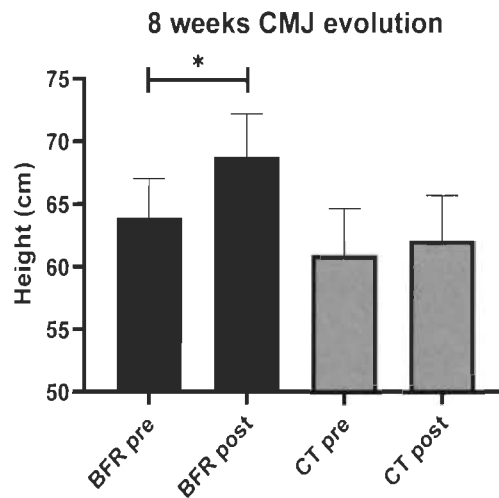


Figure 12.1 Mean \pm SEM changes between pre and post training for the BFR (black bars) and the Control (CT, gray bars) groups. * $p < 0.05$.

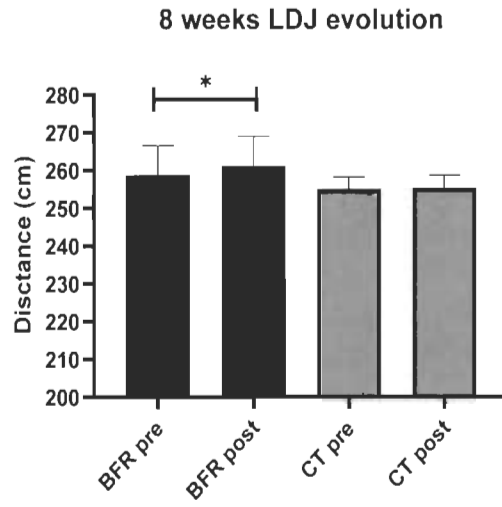


Figure 12.2 Mean \pm SEM changes between pre and post training for the BFR (black bars) and the Control (CT, gray bars) groups. * $p < 0.05$.

DISCUSSION

The purpose of this study was to investigate the effects of a BFR training program on off-ice performance, during a competitive season on men's varsity ice hockey team. We based our hypothesis on previous research conducted in other team sports, indicating that the skeletal muscle during a prolonged hockey season tends to lead to a loss of athletic performance (Daub et al., 1982; Green et al., 2010; Delisle-Houde et al., 2019) whereas study on BFR can increase muscle mass, strength, power, speed and endurance in a short period of time (Abe et al., 2005; Behringer et al., 2017; Wilson et al., 2013). We hypothesized that implementing BFR during a competitive season of ice hockey would benefit athletic performance and body composition. Our study results partially support this hypothesis. Implementing a BFR training program over an 8-week period improve lower and upper body strength in men's varsity HP. This particular physical ability is essential in order to develop power during skating strides (Potteiger et al., 2010). The BFR group was the only one that significantly increased strength gains, in both squat and bench press tests after 8 weeks. This is also what we can observe in the study of Cook et al. (2014), where rugby players increased upper and lower body strength and power in less than 3 weeks with a BFR training regimen. Importantly, the control group loss strength during the upper and lower body tests and also took more time to complete the sprint test. Moreover, the control group did not improve their power in the long-distance jump (LDJ) and in the vertical jump (CMJ) tests, suggesting that may lower the performance on ice. As we see in literature, leg power is crucial for ice skating and especially in hockey, it is also correlated with performance on the ice (Farlinger et al., 2007). Science papers also show that CMJ is the most reliable test to assess leg power (Markovic et al., 2004).

Body composition also changed after 8 weeks as we can see in the study of Delisle-Houde et al., (2019). Results show that the high metabolic stress induced by the BFR training can lower overall body fat percentage in HP after an 8-week protocol. As mentioned in the literature, body composition tends to evolve during the course of a season. Our results show a significant loss in body fat percentage and also on body weight (kg), only for the BFR group. We can therefore hypothesize that the loss in body weight and fat

percentage combined with an increase in strength and power show that BFR training did improve the ratio of power to bodyweight that should increase performance on ice.

For the speed endurance component, BFR training regimen reduce the average sprint time on a repeated 20 meters distance over an 8-week training protocol. The speed endurance factor represents well the on-ice shift during a hockey game. Results show that speed endurance improved significantly in the BFR group only. As we can see in the study of Behringer et al., (2017), sprint time with BFR was also effective. Authors noted an improvement in strength and volume of the rectus femoris muscle on a low intensity protocol in well-trained athletes under BFR protocol. The gain in speed might be helped by the loss of body weight in athletes. Nonetheless, leg power and strength improvement following training regimen may have a direct effect on the ice on skating speed (Potteiger et al., 2010). Overall, BFR training during a competitive season phase for HP seems to be effective.

Perspective on future Research

Future research on BFR should investigate performance on the ice for HP after a BFR training protocol. Research could investigate the effect after a whole season. Therefore, a long-term study with BFR training during a competitive season might answer all of these questions.

Practical Implications

In order to maintain body composition, physical performance, and low loads on joints during a competitive season of ice hockey, BFR training seems to be a very good option. This type of training as shown to prevent the drop in performance of athletic abilities during short term period. Due to the simplicity of this training, HP do not need heavy weights to be able to perform this specific training regimen. The use of elastic bands, light dumbbells or even bodyweight works well with BFR. Therefore, trainers can use BFR devices on the road. Often times teams on the road do not have access to training facilities. BFR is a versatile tool that requires simple occlusion bands. Physiotherapists and athletic

therapists are also professional resources that can benefit BFR fallouts regarding performance and rehabilitation purposes.

To our knowledge, this was the first study to investigate the impact of blood flow restriction training during a competitive hockey season in men's varsity ice hockey. Results show that BFR is a great tool that helps maintaining athletic performance and also improve body composition in a population of well-trained athletes. Performance abilities like muscle strength, power, speed endurance and fat percentages are positively impacted by this specific training method.

Study Limitations

Ice hockey is a sport that requires power, strength and speed. All of those abilities need to be worked outside the ice rink. Considering that the training volume directly affects the performance on a long-term basis, the short period of the study gives an overall idea of how the body composition can change during a competitive hockey season. Unfortunately, this study does not provide on-ice performance measurements. Another limitation of the study is that the BFR training began at the start of the season. Therefore, players were in good physical condition after only 8 weeks. Research show that at the end of a competitive season, HP shows a drop in physical abilities and athletic performance (Daub et al., 1982) (Delisle-Houde et al., 2019). Regarding on-ice performance, specific moves like skating speed, stop and go, fastest lap and others, were not included in this study. Also, we have to consider that the study might encounter the Hawthorne effect inside samples. In fact, both groups often trained at the same time during the day. Despite the lack of knowledge regarding the effects of the specific training groups, participants in the BFR group might have trained harder or could have researched some information about BFR.

CONCLUSION

It is now well known in the literature that BFR has a lot of potential regarding rehabilitation after an injury for athletes. Nowadays, studies measuring performance in athletes are more and more popular. This study mainly focused on the different factors that impact the off-ice performance by adding a specific BFR training regimen for HP during the course of their competitive season. The study shows that a BFR training successfully helped performance for HP off the ice, improving leg power, strength, repeated running speed and body composition. This paper improves our understanding on what can be done with BFR training for HP in order to maintain or enhance specific abilities that are needed to have success on the ice. Although further research is needed to fully explain the mechanism behind BFR and its impact on performance, this study creates a foundation on which to build for future researchers.

Funding disclosure

This study was not funded by any grant

Conflict of interest

No conflict of interest to mention

Ethical approval

All procedures performed involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards (CER-18-246-07.01).

Acknowledgments

The authors want to say thank you to all players from the Patriotes de l'Université du Québec à Trois-Rivières and their head coach, Mr. Marc-Étienne Hubert B.Sc. and the physical trainer Mr. Jean-François Brunelle M.Sc., for their availability in this study.

REFERENCES

- Abe, T., Yasuda, T., Midorikawa, T., Sato, Y., CF, K., Inoue, K., ... & Ishii, N. (2005). Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily “KAATSU” resistance training. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(1), 6-12.
- Astorino, T. A., Tam, P. A., Rietschel, J. C., Johnson, S. M., & Freedman, T. P. (2004). Changes in physical fitness parameters during a competitive field hockey season. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(4), 850-854.
- Behringer, M., Behlau, D., Montag, J. C., McCourt, M. L., & Mester, J. (2017). Low-intensity sprint training with blood flow restriction improves 100-m dash. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(9), 2462-2472.
- Cox, M. H., Miles, D. S., Verde, T. J., & Rhodes, E. C. (1995). Applied physiology of ice hockey. *Sports Medicine*, 19(3), 184-201.
- Cook, C. J., Kilduff, L. P., & Beaven, C. M. (2014). Improving strength and power in trained athletes with 3 weeks of occlusion training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(1), 166-172.
- Daub, W. B., Green, H. J., Houston, M. E., Thomson, J. A., Fraser, I. G., & Ranney, D. A. (1982). Specificity of physiologic adaptations resulting from ice-hockey training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(4), 290-294.
- Delisle-Houde, P., Reid, R. E., Insogna, J. A., Chiarlitti, N. A., & Andersen, R. E. (2019). Seasonal Changes in Physiological Responses and Body Composition During a Competitive Season in Male and Female Elite Collegiate Ice Hockey Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(8), 2162-2169.

- Durocher, J. J., Leetun, D. T., & Carter, J. R. (2008). Sport-specific assessment of lactate threshold and aerobic capacity throughout a collegiate hockey season. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(6), 1165-1171.
- Farlinger, CM, Kruisselbrink, LD, and Fowles, JR. (2007). Relationship to skating performance in competitive hockey players. *J Strength Cond Res* 21: 915-922.
- Folland, J. P., Mc Cauley, T. M., & Williams, A. G. (2008). Allometric scaling of strength measurements to body size. *European Journal of Applied Physiology*, 102(6), 739-745.
- Gonzalez, A. M., Hoffman, J. R., Rogowski, J. P., Burgos, W., Manalo, E., Weise, K., ... & Stout, J. R. (2013). Performance changes in NBA basketball players vary in starters vs. nonstarters over a competitive season. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(3), 611-615.
- Green, H. J., Batada, A., Cole, B., Burnett, M. E., Kollias, H., McKay, S., & Tupling, S. (2010). Cellular responses in skeletal muscle to a season of ice hockey. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 35(5), 657-670.
- Helland, C., Hole, E., Iversen, E., Olsson, M. C., Seynnes, O. R., Solberg, P. A., & Paulsen, G. (2017). Training strategies to improve muscle power: is Olympic-style weightlifting relevant.
- Loenneke JP, Wilson JM, Marin PJ, et al. (2012) Low intensity blood flow restriction training: a Meta-analysis. *European Journal Applied Physiology*; 112(5):1849–59.
- Loenneke, J. P., Young, K. C., Wilson, J. M., & Andersen, J. C. (2013). Rehabilitation of an osteochondral fracture using blood flow restricted exercise: a case review. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 17(1), 42-45.

- Markovic G, Dizdar D, Jukic I, et al. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal Strength Conditioning Research*; 18: 551-555.
- Mascaro, T., Seaver, B. L., & Swanson, L. (1992). Prediction of skating speed with off-ice testing in professional hockey players. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 15(2), 92-98.
- McEwen, J. A., Owens, J. G., & Jeyasurya, J. (2019). Why is it crucial to use personalized occlusion pressures in blood flow restriction (BFR) rehabilitation? *Journal of Medical and Biological Engineering*, 39(2), 173-177.
- Montgomery, D. L. (2006). Physiological profile of professional hockey players-a longitudinal comparison. *Applied physiology, Nutrition, and Metabolism*, 31(3), 181-185.
- Park, S, Kim, JK, Choi, HM, Kim, HG, Beekley, MD, and Nho, H. Increase in maximal oxygen uptake following 2-week walk training with blood flow occlusion in athletes. *Eur J Appl Physiol* 109: 591–600, 2010
- Potteiger, J. A., Smith, D. L., Maier, M. L., & Foster, T. S. (2010). Relationship between body composition, leg strength, anaerobic power, and on-ice skating performance in division I men's hockey athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(7), 1755-1762.
- Wilson, J. M., Lowery, R. P., Joy, J. M., Loenneke, J. P., & Naimo, M. A. (2013). Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(11), 3068-3075.

Yamanaka, T., Farley, R. S., & Caputo, J. L. (2012). Occlusion training increases muscular strength in division IA football players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(9), 2523-2529.

VI. DISCUSSION GÉNÉRALE

La préparation physique hors glace en vue d'une saison de hockey est incontournable pour les hockeyeurs. L'optimisation de la performance nécessite beaucoup d'effort et de travail en gymnase afin de perfectionner ses habiletés athlétiques. En contrepartie, certains athlètes dépassent les limites adaptatives du corps humain en le surchargeant via des pratiques inadéquates qui entraînent une baisse de la performance en cours de saison. La préparation physique en période estivale d'un joueur de hockey varie d'un professionnel du sport à un autre. Une bonne préparation nécessite de prendre en compte la spécificité de l'entraînement, que ce soit par la position occupée par le joueur, ses forces, ses faiblesses ou sa capacité d'adaptation, ces facteurs devant être considérés afin d'avoir une planification adéquate. Un des principes importants de l'entraînement à ne pas négliger est celui de l'intensité et de la charge d'entraînement. Une mauvaise gestion de ce principe d'entraînement peut mener un athlète en surentraînement et affecter sa performance sur glace. De là découlent deux problématiques, soit la sélection du type d'entraînement estival ainsi que l'entraînement en phase de compétition. Pour l'entraînement estival, la littérature montre que les gains acquis pendant cette phase d'entraînement tendent à se perdre au fur et à mesure de la saison de compétition, en raison du nombre élevé d'entraînements sur glace et hors glace (Green et al., 2010). Tandis que les entraînements hors glace en phase de compétition sont principalement utilisés en guise de rappel des aptitudes athlétiques dans une optique de maintien, donc moins intense et comprenant moins de volume en kg de poids soulevé. Cependant, l'entraînement traditionnel est trop souvent mal adapté en fonction du contexte des phases d'entraînement. L'émergence de l'ERV dans le domaine sportif a pour effet d'offrir un outil supplémentaire aux préparateurs physiques et physiothérapeutes, non seulement dans le but d'augmenter la performance, mais aussi d'accélérer le retour au jeu des athlètes en période de compétition.

À ce jour, les paramètres de l'utilisation de l'ERV et la performance évoluent. Le nombre de répétitions, le tempo des contractions musculaire ainsi que la phase

d'entraînement où l'ERV est utilisé n'ont pas fait de consensus. C'est grâce à Loenneke et al., (2012) via une méta-analyse que les chercheurs ont déterminé le meilleur schéma de répétition à utiliser pour optimiser les paramètres physiques tels que la force, la puissance et l'augmentation de masse musculaire. Ce schéma optimal comprend 4 séries au total. La première série compte 30 répétitions afin de solliciter les fibres lentes et dépléter l'oxygène présent dans le muscle grâce à l'effet d'occlusion de l'ERV. Les 3 autres séries subséquentes comptent 15 répétitions afin de stimuler spécifiquement les fibres rapides du muscle squelettique. La période de repos entre chacune des séries est de 30 secondes. Afin de comparer les différences entre les entraînements ERHI et ERV, Wilson et al., (2012) ont demandé aux participants du groupe contrôle d'effectuer les mêmes exercices que le groupe ERV. Le groupe contrôle utilisant des charges de 75 % du 1-RM et le groupe ERV utilisant 25 % du 1-RM. Le groupe contrôle a effectué 4 séries de 12 répétitions avec un repos de 45 secondes entre chaque série. Le volume total de charge soulevée dans chaque groupe a été calculé afin d'éviter un biais dans les données (Folland et al., 2008). Les résultats de l'étude montrent des effets similaires entre les deux types d'entraînement pour la force, la puissance et l'ASM musculaire.

L'utilisation de l'entraînement ERHI est considérée comme étant la plus représentative des entraînements utilisés en phase de compétition chez les hockeyeurs (Delisle-Houde et al., 2019). L'objectif sous-jacent du protocole de l'étude est d'observer l'effet de l'ERV sur les performances athlétiques hors glace, au cours de la saison compétition chez les joueurs de hockey universitaire. À notre connaissance, aucune autre étude sur la performance, incluant ce type d'entraînement dans ce contexte, n'a été réalisée à ce jour.

6.1 Facteurs physiologiques

6.1.1 Contexte de l'étude

L'étude s'est déroulée sur une période de huit semaines. Les résultats aux tests physiques hors glace ont été mesurés avant et après l'intervention soit au début de la saison et à la mi-saison. L'étude a donc permis de mesurer l'évolution de la performance physique

via des tests hors glace chez des joueurs de hockey universitaire en saison de compétition. En se basant sur la littérature, l'ajout de l'ERV semble pertinent puisque ce type d'entraînement montre des bienfaits dans la littérature concernant l'augmentation de l'ASM, de la force musculaire ainsi qu'au niveau de puissance générée par les muscles, en utilisant des charges sous-maximales. Dans l'optique de contrer les effets de déconditionnement physique en cours de saison chez les hockeyeurs rapportés par Delisle-Houde et al., (2019), l'ERV semble être un outil de choix afin de maintenir ces habiletés physiques.

À la lumière des résultats, l'étude montre que l'ERV permet de maintenir et d'améliorer la composition corporelle, la puissance des membres inférieurs ainsi que la force musculaire des joueurs de hockey en période de compétition. L'objectif de l'étude a été atteint puisque les résultats montrent des améliorations significatives dans chacun des paramètres physiques mesurés au cours de la saison. Ce type d'entraînement peut donc être considéré comme une alternative de choix comparativement à l'ERHI qui engendre un désentraînement rapporté en cours de saison de compétition chez les joueurs de hockey (Green et al., 2010).

6.1.2 La composition corporelle

Les paramètres physiologiques de masse corporelle et le pourcentage de masse adipeuse ont été mesurés avant et après l'intervention. La littérature montre que ces deux paramètres varient en fonction du volume d'entraînement et avec le stress physique qu'engendre l'entraînement sur le corps comme le mentionne Delisle-Houde et al., (2019). Les résultats de l'étude montrent une diminution significative de la masse adipeuse du groupe ERV contrairement au groupe contrôle qui affiche une diminution, sans toutefois être significative. La diminution de masse adipeuse pourrait avoir eu une influence positive sur la performance athlétique des joueurs puisque ceux-ci ont amélioré leur sprint, ce qui pourrait en théorie démontrer plus de rapidité sur la glace (Potteiger et al., 2010).

6.1.3 L'endurance vitesse

L'endurance vitesse est aussi un paramètre intéressant à évaluer. Il est représentatif du sport pratiqué par les joueurs de hockey (présences sur glace avec départs rapides et freinages à répétition). Bien que l'étude ne nous ait pas permis de mesurer la performance sur glace, l'endurance vitesse a été mesurée via un test de sprints répétés. Les participants ont réalisé 1 sprint sur 20 mètres avec un retour actif, avant de reprendre le départ. Ils ont répété ce même processus pour un total de 5 sprints. La moyenne de leur temps de passage a été conservée. Les résultats montrent une diminution significative du temps de passage pour le groupe ERV contrairement à une légère diminution non-significative pour le groupe contrôle. La méthode d'entraînement ERV permet d'abaisser le temps de passage aux sprints comme le confirme l'étude de Cook et al., (2014) effectué auprès de joueurs de rugby. Ces résultats sont également un bon prédicteur de la vitesse sur glace comme il est démontré dans les études de Behm et al (2005) ainsi que Farlinger et al., (2007), toutes deux effectuées auprès de joueurs de hockey. L'ERV permet aux joueurs de répéter avec efficacité des efforts consécutifs comme une présence sur glace. Il reste à déterminer si ces résultats sont transférables sur glace.

6.1.4 La force musculaire

La force musculaire, qui vise essentiellement à recruter le maximum d'unités motrices en vue de produire un mouvement de force volontaire, a également été mesurée. Un test de force maximale au développé couché ainsi qu'un test de squat à 90 degrés de flexion des genoux ont été réalisés pour obtenir le 1-RM de chaque participant. Pour les joueurs de hockey, la force des membres inférieurs joue un rôle important dans le mouvement actif de patinage (Potteiger et al., 2010). Elle joue également un rôle au niveau de l'équilibre du joueur sur patins lorsque des forces externes entrent en jeu (Behm et al., 2005). La force des membres supérieurs est un élément important à prendre en compte, bien que secondaire aux demandes du sport. La force des membres supérieurs permet notamment aux joueurs de se démarquer lors de confrontations physiques.

La force des membres inférieurs a été mesurée par un test de squat avec flexion des genoux à 90 degrés. Une amélioration significative a été observée pour le groupe ERV

alors qu'une légère diminution a été observée dans le groupe contrôle. Les résultats montrent également une amélioration significative de la force des membres supérieurs au développé couché pour le groupe ERV et une diminution significative pour le groupe contrôle. Il est important de mentionner qu'aucun des groupes n'a exécuté le mouvement de développé couché pendant les huit semaines d'entraînement. Lors d'une précédente étude de Yamanaka et al., (2012), on a également pu observer des gains en force au niveau des membres inférieurs et supérieurs chez des joueurs de football américains de division I suite à l'utilisation de l'entraînement ERV pendant quatre semaines.

En plus d'observer une diminution de la masse corporelle ainsi qu'un gain de force musculaire, le groupe ERV a été également plus rapide aux sprints répétés. Il est possible d'établir un lien entre ces résultats car, si les athlètes sont en mesure de générer plus de force (Watts) par rapport à leur poids en (kg), ils seront donc plus puissants et rapides lorsque vient le moment de faire un effort physique (Burr et al., 2008).

6.1.5 La puissance des membres inférieurs

Pour mesurer la puissance des membres inférieurs, des tests de sauts verticaux et de sauts en longueur ont été effectués. La puissance est une aptitude athlétique importante dans le mouvement de patinage. Le transfert d'énergie permet au joueur de se propulser à grande vitesse sur la glace, plus un joueur est puissant, plus il aura de la facilité à distancer ses adversaires pour se procurer des opportunités. À la suite des trois essais, la moyenne des différents sauts a été calculée pour chaque groupe.

Le saut en hauteur a montré une amélioration significative pour le groupe ERV au terme des huit semaines, alors que le groupe contrôle a montré une légère augmentation de sa performance sans être significative. Il en est de même pour le test de saut en longueur suite aux huit semaines d'entraînement. Ces résultats montrent que les participants du groupe ERV sont plus puissants que ceux du groupe contrôle au terme des huit semaines d'entraînement, et ce, malgré le fait que chaque groupe ait exécuté les mêmes exercices lors de leur programme. Dans une étude récente, l'entraînement ERV utilisant des exercices de fentes au niveau des membres inférieurs, a permis d'améliorer la puissance chez de jeunes athlètes (Doma et al., 2020).

6.2 Applications pratiques

Suite aux résultats obtenus dans l'étude, l'utilisation de l'ERV doit être un outil à considérer lors de la planification d'un entraînement en phase de compétition, que ce soit à des fins de maintien ou de performance. L'amélioration des paramètres du muscle squelettique comme la force, la puissance et le temps de vitesse de course sur sprints répétés fait de l'ERV un entraînement de choix. Les préparateurs physiques peuvent, en fonction de leur planification annuelle, utiliser l'ERV pour travailler certaines aptitudes physiologiques spécifiques. Par exemple, en phase de compétition, l'ERV pourrait être utilisé de deux à trois fois par semaine pour un groupe musculaire spécifique. En phase hors compétition, l'ERV pourrait être utilisé à chaque entraînement, de quatre à six fois par semaine. La combinaison de l'ERHI et de l'ERV dans le même entraînement est également possible. Rappelons que les athlètes peuvent utiliser l'ERV quotidiennement sans affecter négativement leur performance athlétique (Nielsen et al., 2012). Les préparateurs physiques peuvent aussi utiliser l'ERV afin d'optimiser la remise en forme des athlètes, tant au niveau musculaire qu'au niveau cardiovasculaire, comme l'ont démontré Abe et al. (2010). L'ERV permet non seulement de diminuer la durée des entraînements, mais aussi d'en augmenter la fréquence, sans négliger la performance. Un autre avantage de l'utilisation de l'ERV pour les préparateurs physiques est que cet entraînement nécessite peu de matériel. Les brassards utilisés pour créer l'occlusion sont facilement ajustables. Ils peuvent être utilisés lors de longs voyages sur la route. L'atout majeur de l'ERV est sa polyvalence et son côté pratique pour les professionnels de la santé. Sur le terrain, le choix d'un brassard spécialisé est nécessaire afin de contrôler la pression d'occlusion et pour maximiser les effets de l'ERV. Plusieurs compagnies offrent désormais des brassards automatisés qui sont adaptés soit pour la performance, soit pour la réadaptation physique. Le doppler ne serait donc plus requis. Que ce soit via un dispositif automatisé ou une application mobile, le brassard adoptera la pression idéale en fonction du participant, assurant ainsi une utilisation sécuritaire et effective que ce soit pour les membres supérieurs ou inférieurs. Une fois les brassards gonflés, les athlètes pourront bouger librement afin d'exécuter avec aisance les exercices recommandés par le professionnel de la santé.

6.3 Forces et limites de l'étude

Une force de l'étude a été d'approfondir l'effet du volume d'entraînement sur la composition corporelle ainsi que sur la performance athlétique. Un des points forts de l'étude a été d'observer l'évolution de la performance athlétique pendant la saison de compétition, avec un échantillon représentatif d'une équipe de hockey de haut niveau. À notre connaissance, il n'existe pas de consensus scientifique permettant de dire quel type d'entraînement est idéal pour les joueurs de hockey en phase de compétition. Une autre force de l'étude est que les résultats obtenus suite à l'entraînement ERV semblent faire de cette méthode une bonne pratique afin de conserver les aptitudes athlétiques pour les joueurs de hockey en cours de saison.

L'étude n'a pas inclus de mesures de la performance sur glace, ce qui en constitue une limite : en effet, seules les aptitudes athlétiques hors glace ont été mesurées. Une étude ultérieure pourrait reprendre les mêmes paramètres et mesurer le transfert présumé de performance sur glace à l'aide de tests reconnus et à développer. L'uniformité du programme d'entraînement est une autre limite, chaque joueur ayant suivi le même plan sans tenir compte des forces et faiblesses de chacun. Une étude tenant compte de ces paramètres pourrait ainsi cibler des aptitudes physiques à améliorer en fonction du joueur ou de sa position. Une faiblesse de l'étude concerne le moment où les entraînements des athlètes ont été réalisés. Compte tenu du contexte universitaire, les joueurs ont parfois dû s'entraîner à des heures non optimales, tard en soirée, suite à un entraînement sur glace par exemple. Ceci reste par contre 'écologique' compte tenu des exigences de l'agenda hebdomadaire des athlètes conciliant sport et études. Cela était parfois nécessaire afin de respecter les paramètres de l'étude. Une autre faiblesse de l'étude qui pourrait influencer les résultats est l'effet placebo doublé d'un effet Hawthorne : comme les participants partageaient la même salle d'entraînement, le fait de savoir dans quel groupe, chaque joueur de l'équipe se trouvait, a pu avoir une influence sur l'effort déployé à l'entraînement. Il aurait été intéressant de comparer d'utiliser plusieurs équipes à titre de comparaison afin d'extrapoler les résultats à plus grande échelle.

6.4 Conclusion

Dans le but de maintenir la composition corporelle et les aptitudes physiques lors d'une saison de hockey, l'ERV se montre supérieur à un entraînement ERHI. L'utilisation de l'ERV permet aussi d'amenuiser le stress sur les articulations et sur le muscle squelettique, tout en permettant d'augmenter la performance athlétique hors glace. Les résultats obtenus lors des tests physiques de force maximale, de puissance des membres inférieurs et de vitesse de course, montrent des résultats significatifs pour le groupe ERV seulement, et ce, même si le volume total de charge soulevé était équivalent pour les deux groupes. Un autre avantage avec ce type d'entraînement est qu'il peut être répété plusieurs fois par semaine sans possiblement occasionner de DOMS, contrairement à des entraînements plus intenses et volumineux comme l'ERHI. Les muscles ne sont donc pas en surcharge afin que l'athlète soit dans un état optimal de performance. L'effet de l'ERV sur le pourcentage de masse adipeuse est aussi non négligeable. La perte de masse adipeuse combinée à une amélioration de la puissance et de la force maximale a permis aux joueurs d'améliorer leurs performances aux tests athlétiques hors glace. Les résultats montrent qu'il est possible de diminuer l'effet de déconditionnement musculaire au cours d'une saison.

Les résultats obtenus montrent que l'ERV permet aux hockeyeurs d'améliorer et de conserver leurs capacités athlétiques en cours de saison. Les paramètres de performance comme la force, la puissance, l'endurance vitesse et la composition corporelle ont tous été influencés positivement, et ce, en phase de compétition.

6.4.1 Financement

Cette étude n'est pas subventionnée par aucun organisme

6.4.2 Conflit d'intérêt

Aucun conflit d'intérêt

6.4.3 Certificat éthique

Chacune des interventions de cette étude a été conduite avec l'approbation éthique de chaque participant et par le comité de recherche selon la déclaration de Helsinki 1964 et ses comparables. (CER-18-246-07.01).

6.4.4 Remerciements

L'auteur souhaiterait remercier les joueurs des Patriotes de l'université de Trois-Rivières et leur entraîneur-chef, M. Marc-Étienne Hubert B.Sc., ainsi que leur préparateur physique en chef, M. Jean-François Brunelle M.Sc., pour leur implication dans le projet.

RÉFÉRENCES

- Abe, T., Yasuda, T., Midorikawa, T., Sato, Y., CF, K., Inoue, K., ... & Ishii, N. (2005). Skeletal muscle size and circulating IGF-I are increased after two weeks of twice daily "KAATSU" resistance training. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(1), 6-12.
- Agel, J., Dompier, T. P., Dick, R., & Marshall, S. W. (2007). Descriptive epidemiology of collegiate men's ice hockey injuries: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System, 1988–1989 through 2003–2004. *Journal of Athletic Training*, 42(2), 241
- Appell, H. J., Duarte, J., & Soares, J. (1990). Muscle atrophy following immobilization. *Sports Medicine*, 10 (1), 42-58.
- Astorino, T. A., Tam, P. A., Rietschel, J. C., Johnson, S. M., & Freedman, T. P. (2004). Changes in physical fitness parameters during a competitive field hockey season. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(4), 850-854.
- Bail, H., Raschke, M. J., Kolbeck, S. F., Weiler, A., Haahr, P. M., & Haas, N. P. (1998, january). Recombinant growth hormone increasus callus maturation time in distraction osteogenesis--a histomorphometric study. In *Langenbecks Archiv fur Chirurgie. Supplement. Kongressband. Deutsche Gesellschaft fur Chirurgie. Kongress* (Vol. 115, pp. 675-680).
- Behm, DG, Wahl, MJ, Button, DC, Power, KE, and Anderson, KG. Relationship between hockey skating speed and selected performance measures. *Journal Strength Conditioning Research* 19: 326-331, 2005.

- Behringer, M., Behlau, D., Montag, J. C., McCourt, M. L., & Mester, J. (2017). Low-intensity sprint training with blood flow restriction improves 100-m dash. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(9), 2462-2472.
- Belardinelli, R., Barstow, T. J., Porszasz, J., & Wasserman, K. (1995). Changes in skeletal muscle oxygenation during incremental exercise measured with near infrared spectroscopy. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 70(6), 487-492.
- Bell, G. J., Syrotauk, D. G., Attwood, K., & Quinney, H. A. (1993). Maintenance of strength gains while performing endurance training in oarswomen. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 18(1), 104-115.
- Bell, Z. W., Dankel, S. J., Spitz, R. W., Chatakondi, R. N., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2019). The perceived tightness scale does not provide reliable estimates of blood flow restriction pressure. *Journal of Sport Rehabilitation*, 29(4), 516-518.
- Bickel CS, Slade J, Mahoney E, Haddad F, Dudley GA, Adams GR. (1985). Time course of molecular responses of human skeletal muscle to acute bouts of resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 2005;98:482-488.
- Boesen, A. P., Dideriksen, K., Couppe, C., Magnusson, S. P., Schjerling, P., Boesen, M., & Langberg, H. (2014). Effect of growth hormone on aging connective tissue in muscle and tendon: gene expression, morphology, and function following immobilization and rehabilitation. *Journal of Applied Physiology*, 116(2), 192-203.
- Bond, V., Adams, R. G., Tearney, R. J., Gresham, K., & Ruff, W. (1991). Effects of active and passive recovery on lactate removal and subsequent isokinetic muscle function. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 31(3), 357-361.

- Buckley, S., Knapp, K., Lackie, A., Lewry, C., Horvey, K., Benko, C., & Butcher, S. (2015). Multimodal high-intensity interval training increases muscle function and metabolic performance in females. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(11), 1157-1162.
- Burr, JF, Jamnik, RK, Baker, J, Macpherson, A, Gledhill, N, and McGuire, EJ. Relationship of physical fitness test results and hockey playing potential in elite-level ice hockey players. *Journal Strength Conditioning Research* 22: 1535-1543, 2008.
- Clark, B. C., Manini, T. M., Hoffman, R. L., Williams, P. S., Guiler, M. K., Knutson, M. J., Kushnick, M. R. (2011). Relative safety of 4 weeks of blood flow-restricted resistance exercise in young, healthy adults. *Scand Journal Medicine Science Sports*, 21 (5), 653-662.
- Cox, M. H., Miles, D. S., Verde, T. J., & Rhodes, E. C. (1995). Applied physiology of ice hockey. *Sports Medicine*, 19(3), 184-201.
- Cook, C. J., Kilduff, L. P., & Beaven, C. M. (2014). Improving strength and power in trained athletes with 3 weeks of occlusion training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(1), 166-172.
- Clemmons, D. R. (2004). The relative roles of growth hormone and IGF-1 in controlling insulin sensitivity. *The Journal of Clinical Investigation*, 113(1), 25-27.
- Daub, W. B., Green, H. J., Houston, M. E., Thomson, J. A., Fraser, I. G., & Ranney, D. B. (1982). Specificity of physiologic adaptations resulting from ice-hockey training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(4), 290-294.

- Deasy, B. M., Feduska, J. M., Payne, T. R., Li, Y., Ambrosio, F., & Huard, J. (2009). Effect of VEGF on the regenerative capacity of muscle stem cells in dystrophic skeletal muscle. *Molecular Therapy*, 17(10), 1788-1798.
- Delextrat, A., Brisswalter, J., Hausswirth, C., Bernard, T., & Vallier, J. M. (2005). Does prior 1500-m swimming affect cycling energy expenditure in well-trained triathletes? *Canadian Journal of Applied Physiology*, 30(4), 392-403.
- Delisle-Houde, P., Reid, R. E., Insogna, J. A., Chiarlitti, N. A., & Andersen, R. E. (2019). Seasonal Changes in Physiological Responses and Body Composition During a Competitive Season in Male and Female Elite Collegiate Ice Hockey Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(8), 2162-2169.
- Donnelly JE, Blair SN, Jakicic JM, Manore MM, Rankin JW, Smith BK; American College of Sports Medicine. (2009). American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 41:459-471.
- Doma, K., Leicht, A. S., Boullosa, D., & Woods, C. T. (2020). Lunge exercises with blood-flow restriction induces post-activation potentiation and improves vertical jump performance. *European Journal of Applied Physiology*, 120(3), 687-695.
- Drummond MJ, Fujita S, Takash A, Dreyer HC, Volpi E, Rasmussen BB. (2008) Human muscle gene expression following resistance exercise and blood flow restriction. *Medicine Science Sports Exercise*. 40: 691–698.
- Durocher, J. J., Leetun, D. T., & Carter, J. R. (2008). Sport-specific assessment of lactate threshold and aerobic capacity throughout a collegiate hockey season. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(6), 1165-1171.

- Farias-Junior, L. F., Browne, R. A. V., Freire, Y. A., Oliveira-Dantas, F. F., Lemos, T. M. A. M., Galvão-Coelho, N. L., ... & Costa, E. C. (2019). Psychological responses, muscle damage, inflammation, and delayed onset muscle soreness to high-intensity interval and moderate-intensity continuous exercise in overweight men. *Physiology & Behavior*, 199, 200-209.
- Farlinger, CM, Kruisselbrink, LD, and Fowles, JR. (2007). Relationship to skating performance in competitive hockey players. *J Strength Cond Res* 21: 915-922.
- Folland, J. P., Mc Cauley, T. M., & Williams, A. G. (2008). Allometric scaling of strength measurements to body size. *European Journal of Applied Physiology*, 102(6), 739-745.
- Gianzina, E. A., & Kassotaki, O. A. (2019). The benefits and risks of the high-intensity CrossFit training. *Sport Sciences for Health*, 15(1), 21-33.
- Gilenstam, K. M., Thorsen, K., & Henriksson-Larsén, K. B. (2011). Physiological correlates of skating performance in women's and men's ice hockey. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(8), 2133-2142.
- Gonzalez, A. M., Hoffman, J. R., Rogowski, J. P., Burgos, W., Manalo, E., Weise, K., ... & Stout, J. R. (2013). Performance changes in NBA basketball players vary in starters vs. nonstarters over a competitive season. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(3), 611-615.
- Green, H. J., Batada, A., Cole, B., Burnett, M. E., Kollias, H., McKay, S., & Tupling, S. (2010). Cellular responses in skeletal muscle to a season of ice hockey. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 35(5), 657-670.

- Green, H., Daub, B. D., Painter, D. C., & Thomson, J. A. (1977). Glycogen depletion patterns during ice hockey performance. *Medicine and Science in Sports*, 10(4), 289-293.
- Helland, C., Hole, E., Iversen, E., Olsson, M. C., Seynnes, O. R., Solberg, P. A., & Paulsen, G. (2017). Training strategies to improve muscle power: is Olympic-style weightlifting relevant.
- Hesford, C. M., Laing, S., Cardinale, M., & Cooper, C. E. (2013). Effect of race distance on muscle oxygenation in short-track speed skating. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(1), 83-92.
- Hughes, L., Rosenblatt, B., Haddad, F., Gissane, C., McCarthy, D., Clarke, T., ... & Patterson, S. D. (2019). Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial. *Sports Medicine*, 1-19.
- Hunt, T. K., Aslam, R., Hussain, Z., & Beckert, S. (2008). Lactate, with oxygen, incites angiogenesis. *Oxygen Transport to Tissue*, 73-80.
- Kawano, H., Tanimoto, M., Yamamoto, K., Sanada, K., Gando, Y., Tabata, I., ... & Miyachi, M. (2008). Resistance training in men is associated with increased arterial stiffness and blood pressure but does not adversely affect endothelial function as measured by arterial reactivity to the cold pressor test. *Experimental physiology*, 93(2), 296-302.
- Kenney, W. L., Wilmore, J., & Costill, D. (2015). *Physiology of Sport and Exercise 6th Edition*. Human Kinetics.

- Kraemer, WJ, Patton, JF, Gordon, SE, Harman, EA, Deschenes, MR, Reynolds, K, and Newton, RU. (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal Applied Physiology* 78: 976-989.
- Quinney, H. A., Dewart, R., Game, A., Snydmiller, G., Warburton, D., & Bell, G. (2008). A 26 years physiological description of a National Hockey League team. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(4), 753-760.
- LaStayo, P. C., Woolf, J. M., Lewek, M. D., Snyder-Mackler, L., Reich, T., & Lindstedt, S. L. (2003). Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation, and sport. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 33(10), 557-571
- Laurentino, G. C., Ugrinowitsch, C., Roschel, H., Aoki, M. S., Soares, A. G., Neves, M., Jr., Tricoli, V. (2012). Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(3), 406-412.
- Lauver, J. D., Cayot, T. E., & Scheuermann, B. W. (2016, May). Effect of Eccentric Exercise with Blood Flow Restriction on Muscle Activation and Microvascular Oxygenation. In *Medicine and Science in Sports and Exercise* (Vol. 48, No. 5, pp. 806-806).
- Lloyd, R. S., Cronin, J. B., Faigenbaum, A. D., Haff, G. G., Howard, R., Kraemer, W. J., ... & Oliver, J. L. (2016). National Strength and Conditioning Association position statement on long-term athletic development. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(6), 1491-1509.
- Loenneke, J. P., Wilson, G. J., & Wilson, J. M. (2010). A mechanistic approach to blood flow occlusion. *International Journal of Sports Medicine*, 31(01), 1-4.

- Loenneke, J., Abe, T., Wilson, J., Thiebaud, R., Fahs, C., Rossow, L., & Bembien, M. (2012). Blood flow restriction: an evidence based progressive model (Review). *Acta Physiologica Hungarica*, 99(3), 235-250.
- Loenneke JP, Wilson JM, Marin PJ, et al. (2012) Low intensity blood flow restriction training: a Meta-analysis. *European Journal Applied Physiology*; 112(5):1849–59.
- Loenneke, J. P., Young, K. C., Wilson, J. M., & Andersen, J. C. (2013). Rehabilitation of an osteochondral fracture using blood flow restricted exercise: a case review. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 17(1), 42-45.
- MacDougall, J. D., et al. (1985). "Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise." *Journal of Applied Physiology* 58.3: 785-790.
- Madarame, Haruhiko, et al. (2010). "Effects of low-intensity resistance exercise with blood flow restriction on coagulation system in healthy subjects." *Clinical physiology and functional imaging* 30.3, 210-213.
- Madarame, H., Sasaki, K., & Ishii, N. (2010). Endocrine responses to upper- and lower-limb resistance exercises with blood flow restriction. *Acta Physiol Hung*, 97 (2), 192-200.
- Markovic G, Dizdar D, Jukic I, et al. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal Strength Conditioning Research*; 18: 551-555.
- Mascaro, T., Seaver, B. L., & Swanson, L. (1992). Prediction of skating speed with off-ice testing in professional hockey players. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 15(2), 92-98.

- McEwen, J. A., Owens, J. G., & Jeyasurya, J. (2019). Why is it crucial to use personalized occlusion pressures in blood flow restriction (BFR) rehabilitation? *Journal of Medical and Biological Engineering*, 39(2), 173-177.
- Moran, J., Sandercock, G. R., Ramírez-Campillo, R., Todd, O., Collison, J., & Parry, D. A. (2017). Maturation-related effect of low-dose plyometric training on performance in youth hockey players. *Pediatric Exercise Science*, 29(2), 194-202.
- Montgomery, D. L. (2006). Physiological profile of professional hockey players-a longitudinal comparison. *Applied physiology, Nutrition, and Metabolism*, 31(3), 181-185.
- Nielsen, J. L., Aagaard, P., Bech, R. D., Nygaard, T., Hvid, L. G., Wernbom, M., Frandsen, U. (2012). Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction. *Journal Physiology*, 590 (Pt 17), 4351-4361. 773–782.
- Noordin, Shahryar, et al. (2009). "Surgical tourniquets in orthopaedics." *The Journal of Bone & Joint Surgery* 91.12: 2958-2967.
- Nosaka K, Sakamoto K, Newton M, Sacco P. (2001). The repeated bout effect of reduced-load eccentric exercise on elbow flexor muscle damage. *European Journal Applied Physiology*; 85: 34–40.
- Park, S, Kim, JK, Choi, HM, Kim, HG, Beekley, MD, and Nho, H. Increase in maximal oxygen uptake following 2-week walk training with blood flow occlusion in athletes. *Eur J Appl Physiol* 109: 591–600, 2010
- Pierce, J. R., Clark, B. C., Ploutz-Snyder, L. L., & Kanaley, J. A. (2006). Growth hormone and muscle function responses to skeletal muscle ischemia. *Journal of Applied Physiology*, 101(6), 1588-1595.

- Pope, Z. K., Willardson, J. M., & Schoenfeld, B. J. (2013). Exercise and blood flow restriction. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(10), 2914-2926.
- Potteiger, J. A., Smith, D. L., Maier, M. L., & Foster, T. S. (2010). Relationship between body composition, leg strength, anaerobic power, and on-ice skating performance in division I men's hockey athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(7), 1755-1762.
- Poton, R., & Polito, M. D. (2016). Hemodynamic response to resistance exercise with and without blood flow restriction in healthy subjects. *Clinical physiology and functional imaging*, 36(3), 231-236.
- Scott, B. R., Slattery, K. M., Sculley, D. V., & Dascombe, B. J. (2014). Hypoxia and resistance exercise: a comparison of localized and systemic methods. *Sports Medicine*, 44(8), 1037-1054.
- Scott, B. R., Peiffer, J. J., & Goods, P. S. (2017). The effects of supplementary low-load blood flow restriction training on morphological and performance-based adaptations in team sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(8), 2147-2154.
- Stand, P. (2009). Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 687-708.
- Takano, H., Morita, T., Iida, H., Asada, K. I., Kato, M., Uno, K., ... & Nakajima, T. (2005). Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *European journal of applied physiology*, 95(1), 65-73.

- Takarada, Y., Takazawa, H., Sato, Y., Takebayashi, S., Tanaka, Y., & Ishii, N. (2000). Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *Journal of Applied Physiology*, 88(6), 2097-2106.
- Takarada, Y., Tsuruta, T., & Ishii, N. (2004). Cooperative effects of exercise and occlusive stimuli on muscular function in low-intensity resistance exercise with moderate vascular occlusion. *The Japanese journal of physiology*, 54(6), 585-592.
- Tarter, BC, Kirisci, L, Tarter, RE, Weatherbee, S, Jamnik, V, McGuire, EJ, and Gledhill, N. Use of aggregate fitness indicators to predict transition into the National Hockey League. *J Strength Cond Res* 23: 1828-1832, 2009.
- Thiebaud, R. S., Yasuda, T., Loenneke, J. P., & Abe, T. (2013). Effects of low-intensity concentric and eccentric exercise combined with blood flow restriction on indices of exercise-induced muscle damage. *Interv Med Appl Sci*, 5 (2), 53-59.
- Wagner, K. R., & Cohen, J. S. (2013). Myostatin-related muscle hypertrophy.
- Watson, R. C., & Sargeant, T. L. (1986). Laboratory and on-ice test comparisons of anaerobic power of ice hockey players. *Canadian journal of applied sport sciences. Journal Canadien des Sciences Appliquées au Sport*, 11(4), 218-224.
- Wilson, J. M., Lowery, R. P., Joy, J. M., Loenneke, J. P., & Naimo, M. A. (2013). Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(11), 3068-3075.
- Xi, Y., Nakajima, G., Gavin, E., Morris, C. G., Kudo, K., Hayashi, K., & Ju, J. (2007). Systematic analysis of microRNA expression of RNA extracted from fresh frozen and formalin-fixed paraffin-embedded samples. *RNA*, 13(10), 1668-1674.

Yamanaka, T., Farley, R. S., & Caputo, J. L. (2012). Occlusion training increases muscular strength in division IA football players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(9), 2523-2529.

Yoshioka, M., Doucet, E., St-Pierre, S., Almeras, N., Richard, D., Labrie, A., & Tremblay, A. (2001). Impact of high-intensity exercise on energy expenditure, lipid oxidation and body fatness. *International Journal of Obesity*, 25(3), 332.

ANNEXES

Index de volume

(Séries x Répétitions x Charge (kg))

Masse (kg)^{0,67}

<u>Auteurs</u>	<u>Échantillon</u>	<u>Milieu</u>	<u>Intervention</u>	<u>Résultats</u>	<u>Conclusion</u>
DELISLE-HOUE (2019)	Joueurs de hockey universitaire (N=24)	McGill University (Canada)	Mesure de la composition corporelle sur deux temps de mesures (hors-saison et mi-saison)	Diminution de la masse adipeuse dans la première partie de la saison, perte de masse musculaire du haut de corps et légère augmentation de la masse des membres inférieurs.	La composition corporelle évolue selon la période de la saison. Les capacités athlétiques déclinent plus la saison évolue.
COOK, C (2014)	Joueurs de rugby semi-professionnels (N=20)	United Kingdom sports council (United Kingdom)	Entraînement en force (hors-saison) 3 fois par semaine pour 5 semaines (180 MmHg) vs Contrôle (75 % de 1-RM). Protocole ; 5 séries de 5 répétitions au Bench press Squat et Pull-Ups.	Amélioration de la force dans le groupe ERV seulement dans les paramètres de Bench press, squat. Augmentation de la puissance des membres inférieurs et diminution du temps de sprint.	Amélioration de la capacité athlétique générale. Cette méthode d'entraînement est donc un bon outil pour les athlètes pendant une saison de compétition. Ce type d'entraînement est également bénéfique pour la réadaptation.
ABE, T (2010)	Jeunes hommes et femmes en santé (N=19)	University of Tokyo (Japan)	Entraînement sur ergocycle 3fois par semaine pour une période de 8 semaines. Le groupe ERV pédale à 40 % du VO ₂ max pour 15 min.et le groupe contrôle à 40 % pour une période de 45 min.	Augmentation significative de la masse musculaire des membres inférieurs et de la force isométrique à l'extension des genoux pour le groupe ERV. Augmentation de VO ₂ max pour le groupe ERV seulement. Aucun changement significatif rapporté dans le groupe contrôle.	La restriction vasculaire amène des changements au niveau de la VO ₂ max et de la masse musculaire. Augmentation au niveau de la force des membres inférieurs.



LETTRE D'INFORMATION ET FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

Invitation à participer au projet de recherche :

Les effets de l'entraînement par restriction vasculaire lors d'une saison de compétition chez les joueurs de hockey masculin universitaire

Ce projet de recherche est celui de Denis-Alexandre Nadeau, étudiant à la maîtrise en sciences de l'activité physique de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Son directeur de recherche est M. Claude Lajoie, Ph.D., professeur-chercheur au département des sciences de l'activité physique de l'UQTR.

Votre participation à la recherche, visant à évaluer l'influence et les effets de l'entraînement par restriction vasculaire comparativement à un entraînement en résistance traditionnel (70 % 1-Répétition maximale) pendant une saison de compétition au niveau universitaire en hockey sur glace, lors d'un programme d'entraînement de neuf semaines.

Les renseignements donnés dans cette lettre d'information visent à vous aider à comprendre exactement ce qu'implique votre participation. Tout cela dans le but que vous puissiez décider si vous voulez participer à cette étude et prendre une décision éclairée. Nous vous demandons donc de lire le formulaire de consentement attentivement et, de poser toutes les questions que vous souhaitez poser avant de décider de participer ou non à l'étude. Vous pouvez prendre tout le temps dont vous avez besoin et consulter les personnes de votre choix avant de prendre votre décision.

Objectifs.

1. Évaluer l'évolution de la masse musculaire, de la force ainsi que de la puissance chez les joueurs de hockey universitaires pendant une saison de compétition (période de neuf semaines)
2. Comparer les données avec un groupe contrôle qui exécute des exercices similaires sans la méthode de restriction vasculaire (ERV)

Tâche.

Votre participation à ce projet de recherche consiste à passer une évaluation de la condition physique (Bio-impédance, Circonférence des membres, 1-RM Squat, 1-RM Développé couché, Force de Préhension, Saut en puissance et en longueur, Sprint 20 mètres). Ces mesures seront répétées à la fin des neuf semaines d'entraînements afin de noter l'évolution.

Mesures anthropométriques.

Lors de la journée de tests physique, la circonférence des bras, des jambes, du torse, ainsi que la taille, le poids et la bio-impédance) seront mesurés avant les tests de force et de puissance.

Tests musculo-squelettiques.

Lors de la journée de tests, la force de préhension (dynamomètre) ainsi que la puissance des membres inférieurs seront aussi mesurées. Un saut en hauteur et en longueur seront utilisés pour la puissance des membres inférieurs. Un test de sprint de 20 mètres sera également calculé afin de mesurer la composante de vitesse. Les tests de 1-RM de développé couché (toucher la poitrine) et de squat (90 degrés) seront réalisés selon le tableau ci-dessous;

Échauffement #	% du 1-RM	Répétitions	Repos
1	30-50 %	8	2 min.
2	60 %	5	2 min.
3	70 %	3	3 min.
4	80 %	1	3 min.
5	90 %	1	5 min.
6	100 %	1	5-10 min.
7	+/- 2-5 %	1	5-10 min.

Lors de la réalisation du test, deux évaluateurs seront présents en tout temps pour donner le matériel nécessaire à la réalisation des tâches. Les deux évaluateurs se positionnent près du sujet afin de s'assurer de la sécurité de chacun tout en leur donnant les consignes appropriées pour la réalisation des tests.

Critères d'exclusion.

Les participants stratifiés à risque cardiovasculaire moyen et élevé ne seront pas inclus dans l'étude. Cette stratification se fait lors du recrutement des participants à l'aide d'un questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique (Q-AAP) modifié selon les normes de l'American College of Sports Medicine. La raison de cette exclusion est que des tests demandant potentiellement un effort intense seront réalisés et pourraient être dangereux pour la santé et la sécurité des gens stratifiés à risque cardiovasculaire moyen et élevé (lignes directrices de l'American College of Sports Medicine). De plus, la réalisation de ces tests avec des participants stratifiés à risque cardiovasculaire moyen et élevé nécessiteraient la présence d'un cardiologue ou d'un médecin.

Risques, inconvénients, inconforts.

Des risques sont bel et bien présents dans ce type de projet, tant sur le plan physique que psychologique. D'abord, bien que les risques physiques soient minimisés en raison du type de participants recherché pour cette étude, il y a tout de même des précautions à prendre

afin que la santé et la sécurité physique des participants soient préservées. C'est pourquoi un questionnaire écrit (questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique ou QAAP) sera rempli par chaque pompier avant son introduction dans l'étude afin que celui-ci comprenne les risques potentiels. Un athlète identifié à risque moyen ou élevé de maladie cardiovasculaire sera retiré du processus. De plus, les participants savent et assument que les tests peuvent présenter des risques comme des épisodes passagers d'étourdissement, d'évanouissement, de pression sanguine anormale, de malaise à la poitrine, des crampes ou des nausées. Ils savent aussi que s'ils éprouvent une douleur, un malaise ou tout autre symptôme pendant ou aussitôt après un test, ils doivent en informer les intervenants. Ils savent également qu'ils peuvent interrompre le test s'ils le désirent, et que l'intervenant peut y mettre fin s'il observe des symptômes de malaise ou des réactions anormales. Ensuite, à la fin de chacun des tests, les participants auront accès à de l'eau et à des boissons sportives fraîches fournies par le groupe de chercheurs. De plus, une aire de repos à l'air conditionné sera aménagée pour les participants. Une douche sera aussi facilement accessible dans les vestiaires. Il est aussi important de prendre note que, en cas d'urgence, les principaux chercheurs possèdent une formation en RCR-Professionnel de la santé (DEA-C) et qu'un défibrillateur externe automatisé (DEA) est disponible dans la clinique de kinésiologie à proximité. Finalement, tout au long du test, les chercheurs se positionnent près de l'athlète pour intervenir rapidement si un participant ne peut réaliser la tâche demandée.

Il est possible que l'intensité de ce type d'entraînement soit un défi important au niveau psychologique. Cela aurait peut-être un impact sur leur perception de leur condition physique. L'étude présente sera justement une opportunité d'identifier les forces et faiblesses de chacun face à leur condition physique et de suggérer des moyens pour remédier à la situation. Les athlètes du groupe contrôle désirant participer à la méthode d'entraînement auront la chance de le faire au courant de l'été suivant.

Bénéfices.

Tous les participants de cette étude auront comme privilège de connaître davantage leur condition physique (test physiques). Les participants recevront un rapport analysant leur performance aux tests. Cela est une aide scientifique de haute qualité pour connaître

exactement leurs forces et leurs faiblesses et planifier des entraînements de façon spécifique.

Confidentialité.

Les données recueillies seront transmises au participant. Les données recueillies au cours de cette étude sont entièrement confidentielles et ne pourront en aucun cas mener à votre identification. Votre confidentialité sera assurée par l'utilisation d'un code numérique.

Les résultats de la recherche seront diffusés sous forme d'article et de rapport, mais ne permettront pas d'identifier les participants.

Les données recueillies seront conservées sous clé au laboratoire de physiologie de l'exercice du département de sciences de l'activité physique et les seules personnes qui y auront accès seront les chercheurs. Elles seront détruites après 5 ans et ne seront pas utilisées à d'autres fins que celles décrites dans le présent document.

Participation volontaire.

Votre participation à cette étude se fait sur une base volontaire. Vous êtes entièrement libre de participer ou non et de vous retirer en tout temps sans préjudice et sans avoir à fournir d'explications. Le refus de participer n'aura aucun impact sur le cheminement scolaire ou sportif de l'athlète.

Le chercheur se réserve aussi la possibilité de retirer un participant en lui fournissant des explications sur cette décision.

Responsable de la recherche.

Pour obtenir de plus amples renseignements ou pour toute question concernant ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec Denis-Alexandre Nadeau au 819-695-0269 ou courriel suivant, **denis-alexandre.nadeau@uqtr.ca**

Questions ou plaintes concernant l'éthique de la recherche.

Cette recherche est approuvée par le comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Trois-Rivières (CER-16-228-07.17). Pour toute question ou plainte d'ordre éthique concernant cette recherche, vous devez communiquer avec la secrétaire du comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Trois-Rivières, Mme Fanny Longpré, par téléphone (819) 376-5011, poste 2129

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

Engagement du chercheur.

Moi, Denis-Alexandre Nadeau, m'engage à procéder à cette étude conformément à toutes les normes éthiques qui s'appliquent aux projets comportant la participation de sujets humains.

Consentement du participant.

Je, _____, confirme avoir lu et compris la lettre d'information au sujet du projet L'entraînement par restriction vasculaire lors d'une saison de compétition chez les joueurs de hockey de calibre universitaire. J'ai bien saisi les conditions, les risques et les bienfaits éventuels de ma participation. On a répondu à toutes mes questions à mon entière satisfaction. J'ai disposé de suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de participer ou non à cette recherche. Je comprends que ma participation est entièrement volontaire et que je peux décider de me retirer en tout temps, sans aucune pénalité.

J'accepte donc librement de participer à ce projet de recherche.

Participant	Chercheur
Nom:	Nom:
Signature:	Signature:
Date:	Date:

CERTIFICAT ÉTHIQUE

2776



CERTIFICAT D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE AVEC DES ÊTRES HUMAINS

En vertu du mandat qui lui a été confié par l'Université, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains a analysé et approuvé pour certification éthique le protocole de recherche suivant :

Titre : Effet de l'entraînement musculaire par restriction de la circulation vasculaire (BFR) sur le maintien de la puissance en période de compétition chez les joueurs de hockey universitaire

Chercheur(s) : Denis-Alexandre Nadeau
Département des sciences de l'activité physique

Organisme(s) : Aucun financement

N° DU CERTIFICAT : CER-18-246-07.01

PÉRIODE DE VALIDITÉ : Du 02 août 2019 au 02 août 2020

En acceptant le certificat éthique, le chercheur s'engage à :

- Aviser le CER par écrit des changements apportés à son protocole de recherche avant leur entrée en vigueur;
- Procéder au renouvellement annuel du certificat tant et aussi longtemps que la recherche ne sera pas terminée;
- Aviser par écrit le CER de l'abandon ou de l'interruption prématurée de la recherche;
- Faire parvenir par écrit au CER un rapport final dans le mois suivant la fin de la recherche.

Bruce Maxwell
Président du comité

Fanny Longpré
Secrétaire du comité

Décanat de la recherche et de la création

Date d'émission : 23 août 2019