

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

DÉVELOPPEMENT D'OUTILS D'ÉVALUATIONS DE LA PERFORMANCE
PHYSIOLOGIQUE ET TECHNIQUE SUR GLACE DU JOUEUR DE HOCKEY
ÉLITE DE MOINS DE 18 ANS

THÈSE
PRÉSENTÉ(E)
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DOCTORAT EN BIOLOGIE
EXTENSIONNÉE DE L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

PAR
MAXIME ALLISSE

DECEMBRE 2019

REMERCIEMENTS

Cette page est l'occasion pour moi, d'adresser toute ma reconnaissance envers les personnes qui ont contribué de près comme de loin à l'élaboration de cette thèse.

Mes premiers remerciements vont clairement à mon directeur de thèse, le professeur Mario Leone, qui a su m'encourager tout au long de ce processus. Merci d'avoir cru en mes compétences, probablement plus que moi-même. Tu as été inévitablement, bien plus qu'un directeur selon moi, et je ne te serais jamais assez reconnaissant de tout ce que tu as accompli pour moi, y compris en dehors de mon parcours académique. Merci d'avoir été présent pour moi à chaque moment, et d'avoir repoussé certaines de mes limites par manque de confiance. J'ai énormément appris sous ta supervision, merci.

Ensuite, je remercie bien évidemment l'ensemble des co-auteurs des différentes publications issues de ce travail de recherche : Hung Tien Bui, Alain-Steve Comtois, Luc Léger, Pierre Sercia et Patrick Desjardins. Je tiens à mentionner que je suis très honoré et chanceux d'avoir mon nom d'inscrit à côté des vôtres dans plusieurs publications et je serais très heureux de pouvoir poursuivre cette collaboration.

Je souhaite également remercier le professeur Denis Theunynck, initialement co-directeur de cette thèse, et malheureusement décédé au cours de ce projet de doctorat, sans qui ce projet n'aurait jamais pu exister.

J'adresse également mes remerciements à la Région Nord-Pas-de-Calais (programme ARCIR), à Hockey Québec pour avoir contribué financièrement à une partie de ce projet de doctorat ainsi qu'à Monsieur Yves Archambault, directeur régional à Hockey Canada.

Je tiens à remercier l'ensemble des joueurs de hockey sur glace de France (Dunkerque et Wasquehal) et de Québec (Chicoutimi, Jonquière, La Baie et Québec), ainsi que les entraîneurs et préparateurs physiques, ayant participé à cette étude. Je remercie plus particulièrement Raymond Veillette, préparateur physique auprès de joueurs de la ligue nationale, pour tout le support qu'il a pu m'apporter.

Je remercie aussi le personnel de la bibliothèque de l'UQAC pour les différents services rendus en lien avec ce travail.

Je tiens finalement à souligner le soutien indispensable de ma famille et de mes amis (Élise, Léo, Julie, Xavier, Laure, Françoise, Nadja, Sophie, Antoine) dans ce projet d'étude, mais aussi pour vos multiples lectures associées à ce mémoire de thèse. Une pensée particulière va bien évidemment à mon épouse, pour tout le soutien qu'elle a pu m'apporter.

DÉDICACE

À mon père : Philippe ALLISSE,

Le 29 mai 2003.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	xi
LISTE DES TABLEAUX.....	xv
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES	xvii
Liste des symboles et des unités	xxi
RÉSUMÉ	xxv
ABSTRACT	xxvii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I REVUE DE LITTÉRATURE	3
1.1 Utilité des paramètres anthropométriques dans la prédiction de performances ..	3
1.2 L'importance de l'âge dans la conception d'équation de prédiction.....	9
1.3 L'intérêt d'évaluer le $\dot{V}O_2\text{max}$	13
1.3.1 Considération des tests aérobies hors-glace.....	16
1.3.2 L'évaluation aérobie sur glace	20
1.3.3 Influence des habiletés techniques de patinage.....	32
1.4 L'importance de l'évaluation anaérobie	34
1.4.1 L'évaluation de la puissance anaérobie alactique hors glace.....	34
1.4.2 L'évaluation de la puissance anaérobie alactique sur glace.....	36
1.4.3 L'évaluation de la capacité anaérobie lactique hors-glace.....	38
1.4.4 L'évaluation de la capacité anaérobie lactique sur glace	40
1.4.5 L'évaluation de la capacité à répéter des efforts intenses sur glace.....	41
1.4.6 L'évaluation de l'agilité sur glace.....	43
1.5 Orientation de l'étude	45
CHAPITRE II MÉTHODOLOGIE.....	47

2.1	Les participants.....	47
2.1.1	Caractéristiques.....	47
2.1.2	Éthique.....	49
2.1.3	Recrutement, directives et organisations.....	49
2.1.4	Les aboutissements pour le participant.....	50
2.1.5	Critères d'inclusion et d'exclusion.....	50
2.2	Les outils de mesure.....	51
2.2.1	Analyseur métabolique.....	51
2.2.2	Analyseur de lactate.....	52
2.2.3	Analyse vidéo et cellules photoélectriques.....	54
2.2.4	Mesure de la fréquence cardiaque.....	54
2.3	Les différents protocoles d'évaluation anthropométriques.....	54
2.3.1	La taille (BH).....	55
2.3.2	La masse corporelle (MC).....	55
2.3.3	Les plis adipeux sous-cutanés.....	57
2.3.4	Les circonférences de taille et de hanche.....	63
2.3.5	Mesures somatotypiques.....	65
2.4	Les tests physiques hors-glace.....	66
2.4.1	Les pompes.....	67
2.4.2	Les redressements assis.....	67
2.4.3	Le saut de lapin.....	68
2.4.4	La force musculaire.....	68
2.4.5	La puissance musculaire.....	69
2.4.6	La flexibilité du tronc (FT).....	69
2.4.7	La flexibilité des épaules (FE).....	69
2.4.8	Test d'endurance cardiovasculaire sur tapis roulant (MAP).....	70
2.5	Les tests physiques sur glace.....	70
2.5.1	Test de sprint en patinage avant.....	71
2.5.2	Test de sprint en patinage arrière.....	71
2.5.3	Test de slalom avec et sans rondelle.....	72
2.5.4	Procédure d'analyse bioénergétique : tests anaérobiques.....	73
2.5.5	Indice d'efficacité du patinage (IEP) : tests anaérobiques.....	73
2.5.6	Test de sprint de longue durée : 12x18m.....	74
2.5.7	Skating Multistage Aerobic Test (SMAT).....	75
2.5.8	Indice d'efficacité du patinage (IEP) : Test aérobie.....	76
2.6	Nos hypothèses.....	77
2.7	Les statistiques.....	78

2.7.1	Article #1.....	78
2.7.2	Article #2.....	78
2.7.3	Article #3.....	78
2.7.4	Article #4.....	79
CHAPITRE III ARTICLE I.....		81
3.1	Morphological, physiological and skating performance profiles of male age group elite ice hockey players.....	82
3.1.1	Abstract	83
3.1.2	Introduction	84
3.1.3	Material and Methods	85
3.1.4	Statistics	88
3.1.5	Results.....	88
3.1.6	Discussion	89
3.1.7	Conclusions.....	95
3.1.8	References.....	97
CHAPITRE IV ARTICLE II		105
4.1	Updating the skating multistage aerobic test and correction for $\dot{V}O_2\text{max}$ prediction using a new skating economy index in elite adolescent ice hockey players..	106
4.1.1	Abstract	107
4.1.2	Introduction.....	108
4.1.3	Methods.....	110
4.1.4	Statistical Analyses	113
4.1.5	Results.....	113
4.1.6	Discussion	115
4.1.7	Practical Applications	117
4.1.8	References.....	119
CHAPITRE V ARTICLE III		131
5.1	Assessment of on-ice oxygen cost of skating performance in elite youth ice hockey players.....	132
5.1.1	Abstract	133
5.1.2	Introduction.....	134
5.1.3	Methods.....	136
5.1.4	Statistical analysis	140
5.1.5	Results.....	141
5.1.6	Discussion	143

5.1.7	Conclusions	147
5.1.8	Références	148
CHAPITRE VI ARTICLE IV		161
6.1	Prediction of on-ice oxygen cost and lactate production, during an all-out anaerobic test in elite youth ice hockey players	162
6.1.1	Abstract	163
6.1.2	Introduction	164
6.1.3	Methods	165
6.1.4	Statistical analysis	168
6.1.5	Results	168
6.1.6	Discussion	170
6.1.7	Conclusions	172
6.1.8	Références	174
CHAPITRE VII DISCUSSION		187
7.1	Profil anthropométrique et physiologique des joueurs de hockey élités	188
7.2	Inclusion d'un indice d'efficacité de patinage afin de prédire le $\dot{V}O_2\text{max}$	190
7.3	Évaluation du coût énergétique en O_2 lors de différentes situations de patinage..	191
7.4	Estimation de la dépense énergétique et de la production de lactate lors d'une épreuve typiquement anaérobie lactique	193
CONCLUSION		197
ANNEXE A : CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ DES PARTICIPANTS ET DE LEURS PARENTS		199
ANNEXE B : APPROBATION PAR LE COMITÉ D'ÉTHIQUE		201
ANNEXE C : LETTRE EXPLICATIVE À L'INTENTION DES PARENTS, DE L'ADOLESCENT		203
RÉFÉRENCES		211

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1.1 Épreuve d'endurance cardiovasculaire sur glace adaptée de Ferguson et al. (1969).....	21
1.2 Épreuve d'endurance cardiovasculaire sur glace adaptée de Marcotte (1973).....	22
1.3 Épreuve d'endurance cardiovasculaire sur glace adaptée de Rhodes (1990)	23
1.4 Épreuve d'endurance cardiovasculaire sur glace adaptée de (Petrella et al., 2007).....	24
1.5 Épreuve d'endurance cardiovasculaire sur glace adaptée de Kuisis (2007).	26
1.6 Épreuve d'endurance cardiovasculaire sur glace adaptée de Leone et al. (2007).....	28
1.7 Épreuve d'endurance cardiovasculaire sur glace adaptée de Durocher et al. (2008).....	29
2.1 Localisation du pli adipeux : triceps	58
2.2 Localisation du pli adipeux : mollet	58
2.3 Localisation du pli adipeux : abdomen.....	59
2.4 Localisation du pli adipeux : supra-iliaque.....	59

2.5	Localisation du pli adipeux : sous-scapulaire	60
2.6	Localisation du pli adipeux : axillaire	60
2.7	Localisation du pli adipeux : pectoral.....	61
2.8	Localisation du pli adipeux : supra patellaire	61
2.9	Localisation du pli adipeux : joue.....	62
2.10	Localisation du pli adipeux : menton.....	62
2.11	Localisation de la circonférence de la taille	64
2.12	Localisation de la circonférence de la hanche	65
2.13	Illustration du test d'évaluation en patinage avant et arrière sur glace adaptée de Larivière et al., (1991)	71
2.14	Illustration du test de slalom avec et sans rondelle sur glace adaptée de Larivière et al., (1991)	73
2.15	Illustration du test de sprint de longue durée (12 x 18,3m) sur glace adaptée de Larivière et al., (1991)	74
2.16	Illustration du test d'endurance cardiovasculaire sur glace adaptée de Leone et al. (2007).....	76
4.1	Relationship between the oxygen uptake and the skating velocity for male elite hockey players without SSI	123
4.2	Comparison of regression curves obtained with either the maximal oxygen uptake values at end of test (maximal velocity) for each individual player tested (n=26) or with oxygen uptake values obtained at each velocity (n=172)	124
4.3	Comparison of $\dot{V}O_2$ values obtained during the SMAT between 2007 and 2017	125

4.4	Relationship between the oxygen uptake, the skating velocity and the skating stride index (SSI) for male elite hockey players	126
4.5	SSI as a function of the maximal velocity achieved.....	127
5.1	Illustration of the on-ice setup for the forward and backward skating testing.....	158
5.2	Illustration of the on-ice setup for the agility tests without and with puck .	159
5.3	Average $\dot{V}O_2$ values obtained at time 0, 10, 20, 30 and 40 s after the end of the tests: A) Forward skating; B) Backward skating; C) Agility without puck; D) Agility with puck	160
6.3	Illustration of the on-ice setup for the MAST	179
6.1	Oxygen uptake as a function of time (A) or the shuttle number (B) during the 12x18m anaerobic skating test.....	180
6.2	Comparison of $\dot{V}O_2$ peak measured and $\dot{V}O_2$ peak estimated from maximal lactate values (A). Post-exercise lactate kinetic is also illustrated (B).....	181

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
2.1	Effectif par projet	49
3.1	Anthropometric characteristics of Bantam elite hockey players	101
3.2	Physical, physiological and skating characteristics of Bantam elite hockey players.....	102
3.3	Spearman correlation coefficients between skating performance test(s) and anthropometric and physiological fitness tests (off-ice) for each of the corresponding assessment sessions.	103
4.1	Descriptive characteristics of the players for the variables assessed.....	128
4.2	The on-ice intermittent maximal multistage shuttle skate test for the prediction of the maximal oxygen uptake for male elite hockey without SSI	129
4.3	The on-ice intermittent maximal multistage shuttle skate test for the prediction of the maximal oxygen uptake for male elite hockey with SSI..	130
5.1	Anthropometric, physiologic and skating characteristics of the players by tests	152
5.2	Anthropometric, physiologic and skating characteristics of the players	153
5.3	Pearson correlation between variables used to predict the oxygen uptake during forward and backward skating	154
5.4	Pearson correlation between variables used to predict the oxygen uptake during skating agility without and with puck	155

5.5	Regression equation for each of the four skating tests	156
6.1	Anthropometric, physiologic and skating characteristics of the players	182
6.2	Pearson correlation coefficient between variables used to predict oxygen uptake during the 12x18m anaerobic skating test.....	183
6.3	Pearson correlation coefficient between variables used to predict lactate concentration during the 12x18m anaerobic skating test	184
6.4	Regression equation for each of the two estimated parameters during the 12x18m anaerobic skating test.....	185

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

ASI :	Arm Stroke Index
BH:	Body Height
BSS :	Backward Skating Speed
Burp :	Burpees
CI :	Confidence Intervals
Ecto :	Ectomorphie
EMG :	Electromyography
Endo :	Endomorphie
ES :	Effect Size (Cohen's d)
FC :	Fréquence cardiaque
FSS :	Forward Skating Speed
HR :	Heart Rate
IMC :	Indice de masse corporel

xviii

LNH : Ligue Nationale de Hockey

MAP : Maximal Aerobic Power

MC : Masse Corporelle

Meso : Mésomorphie

MET : Metabolic Equivalent of Task

n ou N : Nombre de sujets

NHL : National Hockey League

OSI : Overall Skating Index

PBF : Percentage of Body Fat

Pups : Push-ups

r : Corrélation

r^2 : Variance commune

SAP : Skating Agility with the Puck

SAWP : Skating Agility Without the Puck

SAnP: Skating Anaerobic Power

SD :	Standard Deviation
SEE :	Standard Error of the Estimate
SEI :	Skating Efficiency Index
SMAT:	Skating Maximal Aerobic Test
SPSS:	Statistical Package for Social Science
SSI :	Skating Stride Index
Sups :	Sit-ups
TSAS :	Ten Subcutaneous Adipose Skinfolde
v :	Vitesse
VMA :	Vitesse Maximale Aérobie
$\dot{V}O_2$:	Volume de consommation d'oxygène
$\dot{V}O_{2pic}$:	Volume de consommation pic d'oxygène
$\dot{V}O_{2max}$:	Volume de consommation maximale d'oxygène

LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS

cm : Centimètre

Beat·min⁻¹ : Beat per minute

CO₂ : Dioxyde de carbone

g : Gramme

kg : Kilogramme

kg·m² : Kilogramme mètre au carré

km : Kilomètre

km·h⁻¹ : Kilomètre par heure

l·min⁻¹ : Litre par minute

m : Mètre

min : Minute

ml·kg⁻¹·min⁻¹ : Millilitre par kilogramme par minute

mm : Millimètre

xxii

$\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$: Millimole par litre

O_2 : Oxygène

$\text{rep}\cdot\text{min}^{-1}$: Répétition par minute

p : Seuil de signification

t : Valeur de t

μL : Microlitre

s : Seconde

\pm : Plus ou moins

$<$: Plus petit

\leq : Plus petit ou égal

$>$: Plus grand

\geq : Plus grand ou égal

\cdot : Multiplié

\approx : Approximativement

α : Alpha

β :	Bêta
Σ :	Somme des valeurs
% :	Pourcentage
# :	Nombre de répétition

RÉSUMÉ

L'objectif général de cette thèse de doctorat était de développer des outils afin d'améliorer l'évaluation sur glace de jeunes joueurs de hockey sur glace d'élite. Pour ce faire, 4 projets de recherche ont été menés. Le premier projet consistait, par un suivi longitudinal, à suivre l'évolution du profil morphologique, physiologique et des habiletés patinage qui caractérise les joueurs de hockey sur glace d'élite impliqués dans les ligues de développement. Au total, 18 joueurs ont été mesurés lors de séances d'évaluation hors glace et sur glace au début, à la fin de la saison et au début de la saison suivante. On a constaté que la puissance aérobie maximale s'est maintenue durant la saison de hockey malgré le peu de temps investi afin de maintenir cette qualité physique. Ce phénomène s'explique par le fait que la nature du jeu ainsi que l'intensité des entraînements sur glace étaient suffisantes pour conserver une valeur de $\dot{V}O_2\text{max}$ respectable durant toute la saison. Toutes les habiletés de patinage se sont améliorées pendant la saison de hockey, mais pas pendant la saison morte où une certaine dégradation a été observée. Plus particulièrement, on a observé que le faible pourcentage des variances communes expliquées (<20%) entre les variables physiologiques mesurées hors glace et les tests de performance sur glace indiquaient des lacunes importantes, tant dans le choix des outils d'évaluation hors glace que dans les méthodes d'entraînement conventionnellement utilisées. Pour ces différentes raisons, l'objectif du second projet a été de mettre à jour, les valeurs de $\dot{V}O_2$ obtenues au cours du Skating Maximal Aerobic Test (SMAT) et de proposer un indice d'efficacité de patinage (Skating Stride Index; SSI) permettant d'améliorer la prédiction du coût en oxygène. En effet, le SMAT, comme la plupart des tests de terrain, suppose que les participants qui atteignent un palier donné obtiennent la même valeur de consommation d'oxygène, ce qui n'est généralement pas le cas. Ainsi, 26 joueurs de hockey élités ont été évalués au cours du SMAT et leurs résultats ont été analysés afin de déterminer la contribution d'un nouvel indice d'évaluation de l'économie de patinage sur la performance sur glace. Un SSI, associé à la vitesse maximale de l'épreuve a ainsi été développé et a permis d'améliorer la précision des valeurs de $\dot{V}O_2$ prédites ($r=0,95$, $SEE=1,92$). En comparant le SSI des joueurs, on a noté que les valeurs de $\dot{V}O_2$ pouvaient varier de plus de $5\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ à l'intérieur d'un même palier, suggérant l'importance d'inclure le SSI dans la prédiction du $\dot{V}O_2\text{max}$. Par la suite, dans un troisième projet, nous avons évalué la robustesse des équations de prédiction du coût en O_2 dans quatre différentes situations de patinage anaérobie. À ce titre, 24 joueurs élités pour lesquels le temps d'exécution, la fréquence cardiaque, le $\dot{V}O_2$, les foulées et le SSI ont été mesurés pour chaque test. Les quatre équations de régression ont affiché des coefficients de corrélation variant de 0,91 à 0,93 et une SEE se situant

entre 4,5 et 8,4%, suggérant à nouveau que le temps d'exécution à lui seul, est un mauvais prédicteur de la consommation d'O₂ requise pour ce type d'effort. L'introduction d'un SSI permettra ainsi aux entraîneurs d'obtenir des informations plus précises concernant le développement des habiletés de patinage puisqu'on a notamment constaté que les jeunes joueurs ont généralement une efficacité de patinage inférieure à celle des joueurs plus âgés. Finalement, le but de notre dernier projet a été d'examiner la capacité prédictive de nos algorithmes permettant d'estimer le coût en oxygène et le taux de lactate à l'aide d'une épreuve mesurant la capacité anaérobie lactique sur glace (12x18m). Pour ce faire, 20 joueurs élités ont subi le test au terme duquel l'accumulation du lactate post-effort a été mesurée. L'inclusion du SSI dans l'équation de prédiction afin de prédire le taux de lactate a eu un impact majeur en faisant passer la corrélation du modèle de régression multiple de 0,54 à 0,87 tout en réduisant l'erreur-type de l'estimé de 10,4% à 6,5%. Ce constat rejoint celui émis par Saltin et al. (1972) qui rapportaient l'importance de considérer un indice de rendement mécanique dans ce type d'épreuve. Nos résultats ont ainsi permis de développer des outils de prédiction précis afin d'estimer les valeurs de $\dot{V}O_2$ absolues ($r=0,87$; $SEE=0,19$) et de lactate ($r=0,87$; $SEE=0,94$). D'un point de vue pratique, les nouveaux algorithmes développés donneront l'opportunité aux entraîneurs de ne pas avoir recours à la collecte de prélèvements sanguins afin de déterminer la concentration maximale de lactate accumulée. Ainsi, nos travaux auront permis de développer des outils d'évaluation sur glace accessibles tant aux scientifiques qu'aux entraîneurs.

MOTS-CLÉS : hockey sur glace, test de terrain, estimation du coût énergétique, indice d'efficacité de patinage, lactate.

ABSTRACT

The general objective of this doctoral thesis was to develop tools to improve the on-ice assessment of young elite ice hockey players. The first part was, through a longitudinal follow-up, to monitor the evolution of the morphological, physiological and skating skills profile that characterize youth players involved in elite ice hockey development leagues. Eighteen (18) players were evaluated off-ice and on-ice at the beginning, end, and at the beginning of the following season. We noticed that the maximal aerobic power was maintained during the hockey season despite little time invested to develop this physical quality. This phenomenon is explained by the fact that the nature of the game as well as the intensity of the on-ice training sessions were enough to maintain a respectable $\dot{V}O_2\text{max}$ value throughout the season. All skating skills improved during the hockey season, but not during the off-season when some degradation was observed. Specifically, it was observed that the low percentage of common variance (<20%) between physiological variables measured off-ice and skating performance tests assessed on-ice, indicated significant shortcomings in both the choice of conventionally off-ice training methods as well as off-ice assessment tools. For these different reasons, the objective of the second project was to update the $\dot{V}O_2$ values obtained during the Skating Maximal Aerobic Test (SMAT) and to propose a Skating Stride Index (SSI) in order to improve the prediction of oxygen uptake. Indeed, the SMAT, like most field tests, assumes that participants who reach a given level have the same oxygen consumption, which is not usually the case. An SSI was developed, and when associated with the maximum speed achieved during the test, the accuracy of the predicted $\dot{V}O_2$ values was improved ($r=0.95$, $SEE=1.92$). When comparing players' SSI, it was noted that the $\dot{V}O_2$ values could vary by more than $5\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ within the

same stage, suggesting the importance of including the SSI in the prediction of $\dot{V}O_2\text{max}$. Subsequently, in a third project, we evaluated the robustness of the O_2 cost prediction equations in four different anaerobic skating situations. As such, 24 elite players participated in this study for whom the execution time, heart rate, $\dot{V}O_2$, skating strides and SSI were measured for each test. The four regression equations displayed correlation coefficients ranging from 0.91 to 0.93 and a SEE between 4.5 to 8.4%, suggesting that the execution time alone is a poor predictor of O_2 uptake required for this type of effort. The introduction of the SSI will allow coaches to obtain more precise information concerning the development of skating skills of their players, since it has notably been observed that young players generally have a lower skating efficiency than older players do. Finally, the goal of our last project was to examine the predictive value of our algorithms to estimate oxygen cost and lactate level using an on-ice anaerobic lactic capacity test. Thus, 20 elite players were tested, and post-exercise lactate accumulation was measured. The inclusion of the SSI had a major impact in the lactate level prediction by improving the correlation of the multiple regression model from 0.54 to 0.87, while reducing the standard error of the estimate from 10.4% to 6.5%. This finding is consistent with the results presented by Saltin et al. (1972) who reported the importance of considering an index of mechanical efficiency in this type of test. Our results have led to the development of accurate prediction tools to estimate absolute $\dot{V}O_2$ ($r=0.87$, $SEE=0.19$) and lactate level values ($r=0.87$, $SEE=0.94$). From a practical point of view, the new algorithms developed will help coaches to determine the maximum lactate concentration without requiring the use of blood samples. Thus, our work will have enabled the development of on-ice assessment tools available to both scientists and coaches.

Keywords: ice hockey, field test, energy cost estimate, skating efficiency index, lactate

INTRODUCTION

L'évaluation de l'aptitude physique chez l'athlète de haut niveau requiert la considération de multiples facteurs pouvant influencer la performance sportive. Plus particulièrement, le hockey sur glace nécessite des compétences très spécifiques au contexte de jeu qui est la glace et pour lesquelles l'évaluation de la condition physique hors glace n'est que très peu transférable aux qualités sur glace. Ces contraintes ainsi que l'avènement de technologie plus précise, nous amènent donc aujourd'hui à repenser les évaluations de la condition physique sur glace. En effet, les tests actuels développés par exemple par Larivière et Godbout (1976) attribuent au joueur une compétence physique basée uniquement sur le temps d'exécution des épreuves. Cependant, il est difficile d'admettre que la réponse métabolique liée à l'effort sur glace soit influencée uniquement par le temps. Dans le cadre de cette thèse de doctorat, nous tenterons donc de fournir aux scientifiques et aux professionnels de ce sport, des outils d'évaluation simples et conviviaux permettant d'attribuer des valeurs métaboliques et techniques à chacune des épreuves sur glace, afin éventuellement, que ces outils contribuent à un meilleur suivi des performances. Pour cela, nous avons décrit dans un premier temps au moyen d'un suivi longitudinal les caractéristiques morphologiques, physiologiques et techniques du jeune joueur de hockey sur glace de haut niveau dans le but de comprendre les répercussions physiologiques d'un entraînement sur glace comparativement aux entraînements hors glace. Nous avons ensuite produit des équations de prédiction de la consommation d'oxygène à l'aide d'un analyseur de gaz portable ($K4b^2$) pour les cinq épreuves anaérobies de Larivière et Godbout (1976), ainsi que pour le test de capacité aérobie intermittent de Leone et al. (2007). De plus, nous avons analysé la contribution des habiletés techniques au moyen d'une analyse vidéo

nous permettant de créer un indice d'efficacité de patinage issu du nombre de coups de patin nécessaires afin de réaliser les différentes tâches de patinage. Finalement, dans le but d'éviter la prise de prélèvements sanguins à partir d'un analyseur de lactate portable (Lactate Pro), nous avons développé un algorithme qui permet de prédire la concentration maximale de lactate sanguin produite lors d'une épreuve anaérobie standardisée. Ce document présente par conséquent, dans une première partie, un recensement des écrits permettant d'expliquer la contribution possible des variables physiologiques, biomécaniques et anthropométriques pour la conception d'équation de prédiction liée à la performance, mais aussi d'entrevoir les efforts faits dans le passé pour évaluer la condition physique sur glace. La méthodologie y est ensuite décrite pour notamment y saisir l'utilité des nouvelles technologies dans le cadre des évaluations sur glace et ainsi faciliter la reproduction de nos épreuves sur glace. Ce projet a abouti à quatre articles scientifiques qui ont notamment servi à alimenter la discussion générale et qui nous a amené à réfléchir sur d'autres perspectives d'évaluation de la performance du joueur de hockey sur glace.

CHAPITRE I

REVUE DE LITTÉRATURE

Le hockey sur glace est une discipline complexe pour laquelle plusieurs facteurs physiologiques, biomécaniques et anthropométriques affectent la performance. Il convient de connaître la contribution de chacune de ces variables avant d'être en mesure d'élaborer un modèle permettant de prédire le coût énergétique lors des évaluations sur glace. Ce chapitre a pour objectif de recenser l'ensemble des écrits à ce sujet.

1.1 Utilité des paramètres anthropométriques dans la prédiction de performances

Les entraîneurs et préparateurs physiques ont souvent recours à l'évaluation de l'aptitude physique, dont l'objectif est d'identifier le niveau des athlètes qu'ils suivent, et d'en observer l'évolution à travers l'application d'entraînements spécifiques, mais aussi dans le but de détecter de nouveaux talents sportifs. Récemment, Pion et al. (2015) ont démontré en ce sens que chaque sport est caractérisé par des athlètes dotés de caractéristiques anthropométriques, physiologiques et biomotrices particulières favorisant la performance dans leur sport respectif. Si chacune de ces variables qui caractérisent les athlètes de différents sports est importante pour la performance, il est nécessaire de comprendre leurs contributions relatives à l'égard de la détection d'athlètes prédisposés à performer dans une discipline donnée.

Pour cela, Leone et al. (2002) ont classé, dans leur étude, cent athlètes de quatre disciplines sportives différentes (tennis, n=15; nage, n=23; patinage artistique, n=46; volleyball, n=16) à partir de variables anthropométriques et biomotrices. L'étude a révélé que les variables anthropométriques contribuent davantage au modèle de prédiction que les variables biomotrices. En effet, les auteurs ont été en mesure de prédire adéquatement la discipline de chaque athlète (88%) à l'aide des variables anthropométriques et biomotrices. Cependant, en isolant les variables anthropométriques, le modèle a permis de prédire correctement 78% des disciplines pratiquées par les athlètes, contre seulement 60% en se reposant uniquement sur les variables biomotrices. Malgré l'hétérogénéité des groupes, qui a pu faciliter les distinctions entre les différents sports, on retient de cette étude une influence non négligeable des variables anthropométriques sur la performance, d'autant plus que l'association de variables prédictives confirme la nature multifactorielle de la performance. D'ailleurs, selon Carter (1985), le profil somatotypique serait associé aux paramètres physiologiques, biomécaniques, et par conséquent, à la performance. Il a été précisé notamment que le somatotype idéal d'un athlète varie en fonction du sport et/ou de la compétition (Carter et Heath, 1990; James, 2009).

Bien que celui-ci ne soit pas le seul élément nécessaire à l'atteinte de l'excellence sportive, il peut en constituer une condition préalable importante. En effet, il a été admis que les caractéristiques anthropométriques d'un athlète peuvent servir à définir le physique adéquat pour un sport donné. On peut citer en exemple l'étude de Charles et Bejan (2009) qui affirment que depuis plusieurs années les athlètes plus grands, plus lourds et plus minces ont tendance à être plus rapides que d'autres athlètes dans les disciplines de sprint de courte durée comme le 100m en course à pied ou le 100m nage libre en natation. Un indice morphologique (basé sur le poids et la taille corporelle) a même été utilisé par les auteurs afin de prédire le succès d'un sprinteur (celui-ci expliquant 2% à 9% de la variance). Ce dernier indice a été notamment repris dans le

domaine du hockey sur glace où les auteurs (Szmatlan-Gabrys et al., 2018) comparent l'influence de plusieurs indices morphologiques comme l'indice de masse corporelle « IMC » (OMS, 1995), l'indice de « Rohrer » (Rohrer, 1921), et d'autres indices dont l'indice morphologique de l'étude de Charles et Bejan (2009). Les auteurs démontrent quant à eux, chez des joueurs de l'équipe nationale polonaise (âgés de 15 à 17 ans), des corrélations significatives de ce dernier indice et la puissance maximale ($r=-0,42$; $p=0,001$), l'indice de fatigue ($r=-0,50$; $p=0,00$) et le $\dot{V}O_2\text{max}$ ($r=-0,31$; $p=0,03$). Cela sous-entend par conséquent que certaines caractéristiques anthropométriques telles que la taille et la masse corporelle, ont une influence directe sur les qualités anaérobies et aérobie. Ces propos sont corroborés par l'étude de Potteiger et al. (2010) révélant une relation assez forte entre le pourcentage de graisse corporelle et la vitesse de patinage sur glace ($r=0,53$; $p<0,05$).

On retrouve des résultats semblables en natation (Sammoud et al., 2018) où la vitesse des nageurs élite au 100m papillon étaient négativement associées à la masse grasse ($p<0,001$) et positivement associée au rapport de longueur ($p<0,004$) et de circonférence des segments ($p=0,001$ et $0,006$). Dans l'étude de Knechtle et al. (2011) pour le sprint en roues alignées, les paramètres anthropométriques tels que l'âge ($r^2=0,30$), la masse corporelle ($r^2=0,42$), l'indice de masse corporelle ($r^2=0,35$), la circonférence du bras ($r^2=0,32$), la circonférence de la cuisse ($r^2=0,29$), la circonférence du mollet ($r^2=0,38$), le pli de la cuisse ($r^2=0,22$), le pli du mollet ($r^2=0,27$), la somme des plis adipeux ($r^2=0,43$) et le pourcentage de graisse corporelle ($r^2=0,45$) étaient corrélés avec le temps de course. Cela indique qu'un pourcentage plus élevé de graisse corporelle, réduirait effectivement la vitesse de patinage en contribuant à la masse générale que le sportif doit déplacer sur la glace et non pas en diminuant la production de force. D'ailleurs, Gledhill et Jamnik (2007) ont rappelé que l'excès de graisse influencerait négativement la vitesse du joueur, réduirait la capacité de récupération et nuirait au contrôle de la température corporelle. D'autres chercheurs (Burr et al., 2008; Tarter et al., 2009) ont tenté également exploiter les variables anthropométriques et

physiologiques hors glace pour prédire les chances de sélection dans la LNH. Malgré le fait que les résultats des tests hors glace ne traduisent pas le rang de repêchage, les variables anthropométriques ont été constamment considérées comme des variables influentes dans chacune des quatre équations proposées par les auteurs.

Il est d'autre part possible d'identifier un profil type chez le joueur de hockey en se basant sur plusieurs études longitudinales (Burr et al., 2008; Cox et al., 1995; Green et al., 1976; Houston et Green, 1976; Montgomery, 2006; Quinney et al., 2008; Triplett et al., 2018). Un joueur de hockey mesure en moyenne 185cm et pèse environ 85kg. Son pourcentage de gras se situe généralement entre 7% et 11%, sachant qu'il existe des différences de composition corporelle entre les attaquants et les défenseurs. Les attaquants ont généralement un pourcentage de graisse moins élevé comparativement aux défenseurs, qui, eux, sont majoritairement plus grands et plus lourds (Burr et al., 2008; Quinney et al., 2008; Triplett et al., 2018; Vescovi et al., 2006b). En se référant à l'étude de Quinney et al. (2008), on constate que la puissance anaérobie maximale, la masse corporelle, la taille, l'IMC, le $\dot{V}O_2\text{pic}$ et la force de préhension ont augmenté au cours des années 1979 à 2005. Néanmoins, les auteurs précisent que la somme des plis cutanés n'a cependant que très peu évolué, suggérant que l'augmentation de poids corporelle a été le résultat d'une augmentation de la masse musculaire et non de la masse grasse, expliquant par conséquent les valeurs de puissance plus élevées. Ce qui rejoint les conclusions de Brocherie et al. (2018) démontrant une augmentation de l'intensité du jeu dans le hockey sur glace moderne.

Un indice morphologique (basé sur la taille corporelle, la masse maigre et le développement musculaire de l'athlète) a été également utilisé par Burr et al. (2008) pour prédire les chances de sélection dans la LNH, prouvant que certaines variables anthropométriques renforcent la prédiction de performance. Geithner et al. (2006) mentionnent quant à lui que le somatotype des joueurs démontre une nette tendance du

profil mésomorphe (reflétant le taux de musculature), et que celui-ci a été associé positivement aux variables de performance en patinage. Même si Kutáč et Sigmund (2015) observent des différences significatives de profils anthropométriques entre la meilleure ligue de hockey russe et tchèque, les caractéristiques anthropométriques des meilleures ligues européennes, telles que la taille, le poids et le pourcentage de masse grasse, ont été semblables à celles enregistrées dans la LNH. En effet, les auteurs ne démontrent aucune différence significative de taille corporelle entre les deux groupes. Les seules différences significatives ont été observées dans le pourcentage de graisse corporelle chez les attaquants ainsi qu'une différence de poids et de graisse corporelle chez les défenseurs. Ces constats peuvent être présentés aux entraîneurs comme des informations pertinentes offrant une plus grande probabilité de performance et de succès pour l'équipe. Cox et al. (1995) ont avancé que les différences entre les joueurs, relativement au poste occupé par le joueur, seraient influencées par les techniques de conditionnement physique imposées aux athlètes pour répondre aux exigences métaboliques de la position, basées sur une philosophie d'entraînement propre à l'entraîneur. Ce dernier point est soutenu par d'autres auteurs (Fields et al., 2018; Gualdi-Russo et Zaccagni, 2001; Mala et al., 2015; Milić et al., 2017; Ryan-Stewart et al., 2018), qui observent notamment des différences anthropométriques significatives en fonction du poste occupé, et qui ont tendance à s'uniformiser individuellement en fonction des exigences rencontrées dans la discipline ou des stratégies de jeu communément employées dans un championnat.

Bien que la composition corporelle puisse refléter de nombreux facteurs non liés au sport d'élite, beaucoup reconnaissent que ce trait peut, à lui seul, influencer sur la performance des athlètes d'élite en compétition. Dans la plupart des disciplines, les caractéristiques anthropométriques permettent notamment d'affiner la prédiction de certaines variables physiologiques comme le $\dot{V}O_2$. Petrella et al. (2007) a établi une équation de prédiction du $\dot{V}O_{2max}$, pour laquelle la variable du poids corporel a contribué à estimer la valeur de dépense énergétique maximale ($r^2=0,185$; $p<0,01$).

Dans notre étude (Allisse et al., 2018), le rapport entre le nombre de coups de patin et la masse corporelle du joueur de hockey a permis d'élaborer un indice d'efficacité de patinage ayant un impact significatif sur l'estimation du $\dot{V}O_2\text{max}$ ($r=0,95$, $SEE=1,92\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). On remarque de plus que l'abandon de cet indice a réduit la corrélation et augmenté l'erreur dans l'estimé du $\dot{V}O_2\text{max}$ ($r=0,94$, $SEE=2,19\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Concernant les épreuves anaérobies, il est intéressant de citer l'étude de Saha (2015) qui remarquent une influence notable des profils somatotopiques sur les performances anaérobies des adultes (âge : $22,16\pm 0,88$). L'auteur a constaté une corrélation positive entre les profils somatotypiques (mésomorphique et ectomorphique) et l'effort explosif des jambes ($r=0,518$; $r=0,329$; $p<0,01$ respectivement). Pour appuyer les précédents arguments, on rapporte dans cette étude une corrélation positive entre la masse maigre et l'épreuve de puissance, supérieure chez les athlètes comparativement aux participants inactifs ($r=0,527$; $r=0,412$; $p<0,01$ respectivement). Cette relation a été corroborée dans notre étude (Allisse et al., 2019) lors de l'utilisation de protocoles anaérobies sur glace issus de Larivière et al. (1991). On a découvert que le poids était significativement corrélé avec la dépense énergétique associée au sprint en patinage avant et en patinage arrière sur 30m ($r=0,918$; $r=0,908$; $p\leq 0,05$ respectivement). On a atteint des corrélations semblables pour des épreuves d'agilité avec et sans rondelle ($r=0,951$; $r=0,977$; $p\leq 0,05$ respectivement) démontrant un lien non négligeable du poids corporel dans l'estimation de la dépense énergétique.

Pour conclure, il est important ne pas tirer de conclusions précipitées concernant le succès actuel ou futur des athlètes en se basant uniquement sur des données anthropométriques. Cela indique simplement qu'un athlète peut posséder un profil compatible aux athlètes de haut niveau et que certaines de ces variables anthropométriques peuvent influencer la prédiction de performance comme on vient de le démontrer. La construction de profils anthropométriques et physiologiques peut certes contribuer aux processus de sélection, mais les facteurs qui déterminent le succès

du joueur de hockey sont multifactoriels. D'ailleurs, dans l'objectif d'un développement à long terme chez les jeunes athlètes élités, de nombreux chercheurs ont étudié les spécificités physiologiques et anthropométriques au cours de la croissance de l'enfant. Ils se sont intéressés aux répercussions de l'âge chronologique, de l'âge biologique ou encore l'effet de l'âge relatif, sur les performances sportives.

1.2 L'importance de l'âge dans la conception d'équation de prédiction

Armstrong et al. (2001) ont étudié les relations entre la production de puissance et les étapes de la croissance des enfants âgés de 12 à 17 ans provenant de 15 écoles du Royaume-Uni (n=417). Ils ont conclu que la masse corporelle ($r=0,878$), la taille ($r=0,946$) et l'âge ($r=0,135$) ont été des variables explicatives du pic de puissance, et que l'introduction de la somme des plis adipeux, reflétant entre autres le taux de musculature, a contribué à l'amélioration du modèle de prédiction, comme on a pu le mentionner précédemment. Armstrong et Welsman (2001) ont, quant à eux, étudié les relations à l'égard du $\dot{V}O_{2pic}$ avec une population identique (n=388) et ont obtenu des conclusions équivalentes concernant les variables explicatives. La croissance des enfants a donc été étroitement associée au développement des qualités physiques compte tenu des changements de dimensions corporelles de l'enfant et des particularités physiologiques retrouvées chez ce dernier. En effet, il est à ce jour largement admis que les enfants développent moins de puissance que les adultes au cours d'efforts brefs et intenses, mais qu'ils possèdent une bonne qualité aérobie au début de la puberté, comparable à celle d'un adulte bien entraîné. Plus particulièrement, leur performance en endurance est liée au cours de la croissance, à l'augmentation des dimensions corporelles et à l'amélioration du rendement mécanique et des habiletés motrices. L'augmentation progressive de la puissance musculaire débute de manière significative au cours de la puberté en raison, notamment, de la typologie des fibres musculaires et d'une production plus importante d'hormones androgènes, favorisant notamment l'activation et la synchronisation des unités motrices. Cela confirme que

l'âge, le poids, la taille et les habiletés techniques et motrices peuvent contribuer à un meilleur ajustement du modèle de prédiction de la dépense énergétique.

Il est amplement reconnu que les individus du même âge chronologique peuvent avoir une maturité biologique considérablement différente (Armstrong et Welsman, 2005; Lloyd et al., 2014). On constate que la fonction des organes et des systèmes biologiques change progressivement entre 11 et 16 ans, et que la progression de ces étapes de maturation varie selon chaque individu (Berentzen et al., 2017; De Moraes et al., 2013; Mirwald et al., 2002). On sait également qu'au cours de cette période, l'état de maturité contribue considérablement aux performances physiques, telle que la capacité aérobie, la puissance anaérobie, la puissance explosive et l'efficacité de changements de direction (Armstrong et Welsman, 2005; Baxter-Jones, 1995; Carvalho et al., 2013; Carvalho et al., 2011; Figueiredo et al., 2009; Malina et al., 2004; Malina et al., 1982; Meylan et al., 2010; Szabo et al., 1972; Vaeyens et al., 2006). La considération de l'état de maturité dans le développement athlétique est même reconnue comme potentiellement importante par les fédérations sportives depuis plusieurs années (Nolan et Howell, 2010). Sherar et al. (2007) ont, de plus, constaté que les meilleurs joueurs de hockey sur glace sont généralement plus grands, plus lourds et plus matures ($p < 0,05$). Néanmoins, en se rapprochant de la fin de la période de croissance, les écarts de maturité des jeunes, constatés au début de l'adolescence, deviennent moins importants puisque les joueurs ayant eu un retard de maturité ont pu le rattraper (Armstrong et Welsman, 2001).

On observe également que les bénéfices d'une maturation hâtive ont fait naître une problématique dans l'identification de talent sportif, appelé « effet de l'âge relatif ». Celui-ci fait référence aux avantages qu'ont les sportifs nés en début d'année civile (plus âgés) comparativement à ceux dont la date de naissance se situe en fin d'année (plus jeunes). Dans un groupe de catégorie « Bantam » (14 et 15 ans) par exemple, il

existe de grandes différences de maturité et les enfants les plus âgés ont donc plus de chance d'obtenir une avance en termes de développement physique et cognitif, c'est-à-dire une corpulence athlétique plus imposante (taille et masse musculaire), mais aussi une meilleure compréhension des systèmes de jeu. Étant considérés plus facilement comme talentueux, ces enfants sont souvent sélectionnés dans les équipes nationales plus tôt et bénéficient donc d'un suivi propice au développement de sportifs de haut niveau (entraînement par des entraîneurs nationaux, nombre d'heures d'entraînement, structures adaptées, etc.), ce qui engendre un effet d'âge relatif dans de nombreux sports (Cobley et al., 2009) et plus particulièrement dans le hockey sur glace (Barnsley et al., 1985; Nolan et Howell, 2010), où les enfants les plus âgés sont les plus nombreux dans les équipes élites. Molenaar et al. (2015) ont, par exemple, observé un nombre plus élevé de joueuses nées dans la première moitié de l'année que dans la seconde (62,4% contre 37,6%, respectivement). Néanmoins, Gibbs et al. (2012) ont mentionné, en utilisant des données publiques de joueurs de hockey de 2000 à 2009, que l'effet de l'âge relatif a été moins prononcé pour des joueurs canadiens de première ronde de la LNH comparativement aux joueurs de la ligue de hockey junior majeur. Effectivement, l'effet de l'âge relatif s'inverse dans la LNH en raison d'un âge moyen plus élevé lors du recrutement et une maturation totalement complétée pour l'ensemble des joueurs sélectionnés lors du repêchage de la LNH. Deaner et al. (2013) ont démontré, quant à eux, que les joueurs « les plus jeunes » de la LNH ont eu une carrière plus productive et une durée moyenne de carrière plus longue. On retient finalement que l'état de maturation permet d'affiner la prescription d'exercices et de comprendre plus précisément les améliorations de performances sportives à très court et moyen termes chez les enfants, mais ne permet pas de prédire les performances à long terme des athlètes.

Relativement à l'âge, certaines particularités sont toutefois importantes à considérer dans la conception d'équation de prédiction du $\dot{V}O_2$. En effet, de nombreux auteurs ont démontré que, pour une même vitesse de course, les enfants utilisent un plus haut

pourcentage de leur $\dot{V}O_2\text{max}$, en raison notamment d'une efficacité de mouvement inférieure à celles des adultes. Léger et Mercier (1984) ont démontré que le coût énergétique total en course à pied était plus élevé chez un enfant de 8 ans comparativement à un enfant de 18 ans. Ce constat a également été soutenu par d'autres auteurs (Astrand, 1952; Bar-Or et Duizabo, 1987; Daniels et al., 1978). D'ailleurs, Macek et Vavra (1980) ont confirmé que la cinétique de consommation d'oxygène lors d'une épreuve cardiovasculaire maximale était différente de celle communément observée chez l'adulte. L'augmentation initiale de l'absorption d'oxygène plus rapide en début d'épreuve va, par conséquent, réduire le déficit en oxygène et l'accumulation de lactate chez l'enfant, en favorisant la dégradation, par oxydation, des glucides et des lipides, au détriment des autres voies anaérobies qui sont source de métabolites et de fatigue musculaire. Ainsi, les enfants utilisent relativement plus le système aérobie, pour resynthétiser de la phosphocréatine au cours de l'exercice, comparativement aux adolescents et aux adultes.

Frost et al. (2002) ont indiqué, quant à eux, que la consommation d'oxygène par foulée rapportée au poids corporel a également été plus élevée en raison des dimensions corporelles des membres inférieurs. En effet, les enfants de cette étude avaient une fréquence de foulée plus élevée et une longueur de foulée plus faible au cours de leur déplacement, associé à des différences de coûts énergétiques. Frost et al. (1997) ont constaté, quant à eux, une suractivation des muscles antagonistes au cours des déplacements des enfants, altérant l'efficacité des muscles agonistes et, ainsi, la dépense énergétique. Cela explique notamment les faiblesses au niveau de la coordination motrice que l'on retrouve chez les enfants (Moritani et al., 1989). De plus, plusieurs auteurs ont prouvé que la masse musculaire des membres inférieurs était également plus faible chez les enfants lorsqu'elle était rapportée à la masse corporelle totale (De Ste Croix et al., 1999; Lambertz et al., 2003). Ainsi, quand les enfants courent, ils possèdent, proportionnellement, moins de masse musculaire au niveau des

jambes et ont donc moins de force que les adultes pour effectuer leurs déplacements. Cela a pour conséquence d'entraîner une longueur de foulée plus courte et une fréquence de foulée plus élevée, qui engendre une augmentation du coût énergétique et de la fatigue. Ainsi, on note que ces différences d'adaptations physiologiques affecteront certainement nos équations de prédiction et suggèrent la considération de l'âge du joueur dans l'estimation de la dépense énergétique pour les sports demandant certaines habiletés techniques. Il est dès lors intéressant d'examiner ce que les évaluations actuelles apportent comme informations pour les joueurs de hockey sur glace.

1.3 L'intérêt d'évaluer le $\dot{V}O_2\text{max}$

Le hockey sur glace est une discipline caractérisée en grande partie par des sprints de hautes intensités et de très courtes durées (Bishop et al., 2003), ne laissant souvent pas place à l'idée que le travail de la puissance aérobie maximale puisse contribuer à la performance des joueurs. Cependant, le métabolisme aérobie serait responsable de 31% de la dépense énergétique totale lors d'une compétition de hockey (Burr et al., 2008; Montgomery, 1988; Seliger et al., 1972). Ce constat est corroboré par Léger (1980), rappelant qu'une partie de hockey est constituée de trois périodes de vingt minutes durant lesquelles le joueur effectue des actions d'intensité modérée représentant environ 85% du match. On observe également une dégradation du glycogène (Green, 1979; Montpetit et al., 1979) en situation de match, nécessitant par conséquent la contribution du système oxydatif, essentielle à la récupération post exercice. Selon plusieurs auteurs (Bogdanis et al., 1996; Quistorff et al., 1993; Trump et al., 1996), un $\dot{V}O_2\text{max}$ supérieur peut contribuer à une optimisation de la resynthèse de la phosphocréatine lors de la récupération entre les sprints. Afin de justifier ce lien avec l'exercice intermittent à haute intensité, Gaitanos et al. (1993) donne l'exemple de la répétition de sprints sur ergocycle (6s d'efforts pour 30s de récupération) entraînant une diminution des stocks de glycogène de 30%. Certains entraîneurs privilégient par

conséquent des stratégies de coaching incluant l'ensemble des joueurs disponibles sur le banc, ayant pour objectif d'optimiser l'intensité du jeu en réduisant l'impact de la fatigue en fin de match. Selon Brocherie et al. (2018), la réduction du temps de jeu par présence sur glace (présence maximale de 60s au lieu de 85s) permettrait d'augmenter l'intensité, mais aussi la fréquence des sprints lors d'une compétition (moyenne de 13 sprints au lieu de 7 sprints). On associerait donc l'absorption maximale d'oxygène aux performances de répétition de sprint, permettant aux joueurs d'être plus efficaces en fin d'un match (Bishop et Edge, 2006; Brocherie et al., 2018; Girard et al., 2011; Jones et al., 2013; Rampinini et al., 2009; Stanula et al., 2014; Tomlin et Wenger, 2002). D'ailleurs, plusieurs auteurs confirment que le pourcentage d'énergie fournit par la filière aérobie augmente au fur et à mesure que les sprints maximaux se réitèrent avec une récupération incomplète (Bogdanis et al., 1996; McGawley et Bishop, 2014; Putman et al., 1995).

Bien que le $\dot{V}O_2\text{max}$ est supérieur à la moyenne des joueurs de hockey élite, soit $58,7\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ dans les études les plus récentes (Lignell et al., 2018; Steeves et Campagna, 2018; Triplett et al., 2018), celui-ci ne semble pas déterminant pour un joueur de hockey possédant une valeur au-delà de $55\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. L'étude de Carey et al. (2007) réalise un constat similaire, où ils observent une faible relation (17,8% de la variance) entre le $\dot{V}O_2\text{max}$ et l'indice de fatigue. En se référant à l'étude de Hagan et al. (1981), cette contribution est clairement inférieure à celle d'un coureur de longue distance pour lequel la consommation maximale d'oxygène est inversement proportionnelle ($r=-0,63$) au temps pour effectuer une distance de 42km (Hagan et al., 1981). De ce fait, les entraîneurs se doivent de considérer la capacité aérobie comme une qualité complémentaire, mais surtout de comprendre son utilisation en compétition afin d'adapter judicieusement, tant le choix des évaluations que les méthodes d'entraînement employées. Avant toute chose, les performances d'un joueur à répéter des efforts intenses ne dépendent pas uniquement de la consommation maximale

d'oxygène. Certains auteurs relèvent notamment des concentrations élevées de lactate ($10-15 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) à la suite d'une épreuve de répétitions de sprint, indiquant l'implication prépondérante du métabolisme anaérobie (Caprino et al., 2012; Glaister et al., 2010). En effet, la durée de récupération n'est pas uniquement liée à la restitution des stocks de phosphagène, mais dépend également de la valeur du pH musculaire et du type de fibres musculaires (McMahon et Jenkins, 2002). Cela suggère par conséquent que des facteurs autres que le $\dot{V}O_2\text{max}$ puissent contribuer aux performances de répétitions de sprints, y compris la capacité anaérobie (Chaouachi et al., 2010). Par ailleurs, en 1995, Balsom écarte complètement la contribution du système aérobie en comparant différentes combinaisons de répétitions de sprints (15m à 40m de sprints répétés de 15 à 40 fois avec 30s à 120s de récupération). Pour chacune des modalités d'entraînement, la performance n'est que très peu détériorée par la répétition de sprint. L'amélioration de la capacité à répéter des sprints de « qualité » en fin de match passe, selon l'auteur, par une meilleure performance maximale en sprint, l'objectif étant d'optimiser l'utilisation et la resynthèse de l'ATP par le système des phosphagènes, mais aussi d'améliorer l'activité enzymatique par ce type d'entraînement selon Tesch (1987). Néanmoins, les conclusions de Balsom partent du principe que tous les sprints effectués dans un match sont linéaires. Or dans cette discipline, on dénombre une multitude de changements de direction, d'accélération et de décélération qui modifient vraisemblablement le coût énergétique comparativement aux sprints purement linéaires (Di Prampero et al., 2005). Cela suppose donc que les sprints non linéaires (incluant une multitude de changements de direction) engendreraient un coût énergétique supérieur au sprint linéaire, et imposeraient par conséquent une récupération différente ayant une incidence sur la contribution de chacune des filières énergétiques. Il est donc inconvenant de conclure qu'une seule filière énergétique peut être responsable des performances de répétitions de sprints. En effet, l'étude de Pyne et al. (2008) établit, en ce sens, un compromis amenant à l'individualisation de l'entraînement en fonction des qualités de chaque joueur. L'auteur démontre qu'un joueur réalisant la meilleure performance de sprint

sur 30m n'est pas forcément celui qui sera le plus rapide en répétition de sprint. Toutefois, certains joueurs qui obtiennent des performances identiques sur 30m se distinguent nettement dans une épreuve de répétition de sprints. Il apparaît donc primordial d'être en mesure de dissocier chacune de ces qualités individuellement (la puissance aérobie maximale, la puissance musculaire et l'accélération, la tolérance au lactate, l'efficacité mécanique et l'agilité) lorsqu'on évalue les athlètes, afin d'identifier des priorités d'entraînement. Retenons pour cela les conclusions de Hoffman et al. (1999), suggérant qu'il est avantageux de maintenir un niveau de capacité aérobie minimal (probablement autour de $50\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) afin d'optimiser la récupération entre les sprints, mais qu'au-delà cette relation n'existerait plus.

1.3.1 Considération des tests aérobies hors-glace

Jusqu'à récemment, l'évaluation de la puissance aérobie maximale des joueurs de hockey a souvent été effectuée hors glace sur un tapis roulant, sur un vélo stationnaire, sur un tapis permettant de reproduire le patinage ou encore le traditionnel test de course navette de 20m. Cependant, de nombreux auteurs ont mentionné l'importance de la spécificité de la discipline et la nécessité d'effectuer l'évaluation de la condition physique sur glace.

Tout d'abord, Léger et al. (1979) ont rapporté que malgré des $\dot{V}O_2\text{max}$ similaires pour des tests effectués sur glace et hors-glace, il existait une différence de $\dot{V}O_2$ de l'ordre de 10% entre la course à pied et le patinage sur glace. Ils ont constaté également qu'un joueur de hockey, comparé à un coureur, présente une efficacité mécanique supérieure sur la glace de l'ordre de 15% et une efficacité mécanique inférieure sur le tapis de course de l'ordre de 7,9%. En lien avec ceci, on peut mentionner que les tests effectués hors-glace (course à pied ou vélo stationnaire) ne sollicitent pas de la même manière les muscles des membres inférieurs comparativement au patinage sur glace. En se limitant au test sur vélo, on note que les membres supérieurs ne sont pas sollicités

pendant l'effort et que le sujet n'a pas à soutenir son poids corporel, ce qui peut influencer le rendement mécanique. Les auteurs mentionnent également qu'il existe une différence dans le coefficient de variation entre les résultats de $\dot{V}O_2\text{max}$ obtenus sur glace (3,4% à 4,8%) et hors-glace (11,9% à 15,1%), confirmant le constat précédent. On évoque également dans cette étude que l'équipement du joueur de hockey augmente le coût énergétique de l'ordre de 4,8% et réduit le temps d'endurance de 20,3%. Point soutenu par Noonan et al. (2007) démontrant que lors d'une partie de hockey simulée, le port de l'équipement complet augmente la température corporelle, ce qui contribue à une augmentation de la fréquence cardiaque contrairement à un joueur qui ne porterait pas d'équipement. De plus, Léger et al. (1979) rappellent que l'environnement froid, que l'on retrouve dans une aréna, peut influencer la réponse de la fréquence cardiaque à la baisse comparativement aux épreuves effectuées en laboratoire. Ces quelques éléments sous-entendent de ce fait que l'évaluation du joueur de hockey doit être réalisée préférablement sur la glace, avec l'intégralité de l'équipement, pour obtenir des résultats représentatifs des exigences de la discipline.

Néanmoins, avec l'apparition de nouvelle technologie comme le tapis roulant simulant le patinage sur glace dans les années quatre-vingt-dix (Acceleration Canada, Calgary, AB), certains auteurs ont tenté d'identifier des similitudes avec les exigences que l'on retrouve sur la glace. Hinrichs (1995) avait signalé à l'époque que les valeurs de $\dot{V}O_2$, plus élevées sur ce type d'appareil, étaient probablement dues aux forces de friction amenant le joueur à augmenter sa fréquence de foulée. D'ailleurs, Dreger (1997) a déclaré que cette différence de résistance raccourcit la phase de glisse par rapport au patinage sur glace. Quant à Turcotte et al. (2004), ils ont mesuré à l'aide de capteurs (FScan sensors) les forces situées dans le patin droit du joueur de hockey. L'étude mentionne qu'à des vitesses sous-maximales, une différence d'appui au talon était significativement plus élevée (30%), que celles observées pendant le patinage sur glace ($p > 0,05$). Nobes et al. (2003) ont également observé des différences significatives de la fréquence, de la longueur de foulée, de la fréquence cardiaque et du coût en oxygène

lors de mesures réalisées sur glace et sur tapis roulant. Malgré un $\dot{V}O_2$ max semblable ($54,7\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ sur glace et $53,4\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ sur le tapis), les auteurs ont enregistré pour des vitesses identiques (18, 20, et $22\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) des valeurs de $\dot{V}O_2$ différentes de l'ordre de 39,7 ; 42,9 ; $46,0\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ sur tapis roulant et 31,5 ; 36,9 et $42,7\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ sur glace. Ceci indique donc un coût énergétique significativement plus faible sur glace ($p=0,05$). Ces résultats concordent avec ceux de Carroll et al. (1993) comparant le patinage à roulettes avec le patinage sur glace par des mesures directes de consommation d'oxygène. Les valeurs de $\dot{V}O_2$ enregistrées étaient elles aussi plus élevées sur tapis roulant. Des recherches équivalentes ont été menées par la suite (Stidwill et al., 2010) pour comparer le patinage sur glace traditionnelle avec les surfaces de glace synthétiques. L'analyse biomécanique lors du patinage avant révèle que la glace synthétique favorise une plus grande résistance, laissant prétendre des conclusions semblables à celles formulées par Léger et al. (1979) et Nobes et al. (2003), précisant que la collecte de données physiologiques en hockey sur glace se doit d'être prises sur glace. De plus, Léger et al. (2007) soutiennent que le protocole sur glace génère des valeurs de $\dot{V}O_2$ max plus élevées et serait par conséquent plus représentatif, constat retrouvé dans l'étude de Durocher et al. (2010) et Leone et al. (2007).

Malgré cela, Ebben et al. (2004) révèlent, par le biais d'une enquête adressée aux préparateurs physiques de la LNH, que la plupart d'entre eux privilégient encore l'évaluation hors glace. En effet, ces résultats démontrent que parmi les vingt-trois préparateurs physiques ayant répondu à l'enquête, seulement dix-huit déclarent évaluer l'endurance cardiovasculaire (environ 78%) et uniquement trois d'entre eux utilisent des protocoles sur glace (environ 13%). Il est pour cela légitime d'émettre l'hypothèse que les préparateurs physiques et entraîneurs choisissent des épreuves hors glace dans le but principal de développer uniquement cette qualité hors glace, ou encore en raison des coûts élevés que pourrait représenter la réservation d'heures de glace spécifique au conditionnement physique. À ce sujet, Farlinger et al. (2007) indique qu'en dehors de

la saison régulière, les disponibilités de glace sont réduites dans certaines régions, incitant les entraîneurs à privilégier un suivi de la condition physique hors glace. On retrouve des suggestions similaires dans l'étude de Bracko et George (2001) mentionnant ce problème pour de nombreuses équipes à Calgary et pour lesquelles la surface de jeu est souvent partagée avec une autre équipe. Par conséquent, les entraîneurs ont tendance à utiliser leur temps d'entraînement sur glace pour élaborer des stratégies d'équipe plutôt que de consacrer du temps à la pratique du patinage ou à l'amélioration de la condition physique sur glace. Cependant, il a été très clairement démontré que la relation entre les tests aérobies hors glace et sur glace était discutable, ce qui remet également en question les effets d'un entraînement aérobic hors glace. On peut se référer pour cela à l'étude de Vescovi et al. (2006a) qui nous ont confirmé que la batterie de tests hors glace de la LNH (dont le test aérobic sur vélo) ne permettait pas de prédire le rang du joueur repêché lors des assises annuelles de la LNH. Ce que justifient Burr et al. (2008), en expliquant que les variables de puissance aérobic, de force musculaire, d'endurance musculaire, de flexibilité et de puissance musculaire n'ont pas été significativement associées au rang de repêchage dans aucun des modèles proposés dans l'étude. En effet, les auteurs ont catégorisé les données en sous-groupe (attaquants, défenseurs, gardiens) dans l'objectif d'augmenter les corrélations. Seulement, cela n'a que très peu influencé la capacité de prévision du rang de repêchage (4% à 9% de la variance expliquée dépendamment du modèle proposé). Ceci nous rappelle que le hockey sur glace, comme de nombreuses autres disciplines, est un sport dont la performance est multifactorielle, et par conséquent que les variables de conditionnement physique ne peuvent pas expliquer à elles-seules la performance globale d'un joueur. En revanche, on pourrait certainement retrouver une meilleure relation dans des disciplines de sprints (contrairement au hockey) où le temps expliquerait davantage la performance.

Cette même relation peut également être influencée par la spécificité de l'évaluation, puisque les groupes musculaires ne sont pas nécessairement sollicités de la même

manière dépendamment du type d'épreuve choisi pour prédire la performance (Haug et al., 1999; Lavoie et al., 1985; Léger et al., 1988; Leone et al., 2007; Marion et Léger, 1988). On note par exemple que l'évaluation des qualités aérobies hors glace, à l'aide du test de course navette 20m, apparaît comme une option valable, mais expliquerait uniquement 48,2% de la variance avec le test « skating maximal aerobic test » (SMAT). Ceci indique que les deux tests ne peuvent pas être considérés comme équivalents et que les valeurs de $\dot{V}O_2$ sont clairement influencées par la spécificité de l'épreuve. De plus, les sujets peu entraînés n'ont pas forcément l'expérience nécessaire pour révéler leur plein potentiel dans certaines épreuves sur glace, et que l'apprentissage du patinage apparaît aussi comme une variable influençant les valeurs de $\dot{V}O_2$. En effet, la relation entre le test de course navette 20m et le test SMAT ont été non significatives ($p > 0,05$) pour un groupe de joueurs plus jeunes ($n=28$; âge = $12,6 \pm 0,29$) contrairement à des enfants plus âgés ($n=0$; âge= $14,0 \pm 0,5$ ans et $n=34$; âge = $15,7 \pm 0,5$ ans) où la relation est significative ($p \leq 0,01$) (Leone et al., 2007). Ces conclusions ont donc permis d'envisager que l'efficacité mécanique de patinage pouvait influencer le rendement énergétique lors des épreuves sur glace et que cette variable n'a pas toujours été considérée pour estimer le $\dot{V}O_{2max}$ sur glace.

1.3.2 L'évaluation aérobie sur glace

À notre connaissance, l'un des premiers auteurs à avoir étudié le $\dot{V}O_{2max}$ sur glace fut Ferguson et al. (1969). L'épreuve consistait à patiner sur un parcours ovale de 140m à une vitesse constante durant 3 min. Entre chaque palier de 3 min, une période de repos de 5 min a été permise dans le but de mesurer la consommation d'oxygène (à l'aide d'un appareil de collecte de gaz à circuit ouvert). Le patineur devait suivre une vitesse prédéterminée par un signal sonore tous les 35m (figure 1.1) en fonction du palier réalisé (24, 22, 21, 20 et 19 s/tour). Cette procédure a permis d'établir un $\dot{V}O_{2max}$ moyen de 54,7 et 55,3 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ pour de jeunes joueurs de hockey universitaires et collégiales âgés de 16 à 25 ans. L'étude a confirmé une corrélation test-retest de 0,94,

amenant Nobes et al. (2003) a réutilisé ce protocole dans le but de comparer les exigences physiologiques d'un test sur tapis roulant simulant le patinage avec les conditions rencontrées sur la glace.

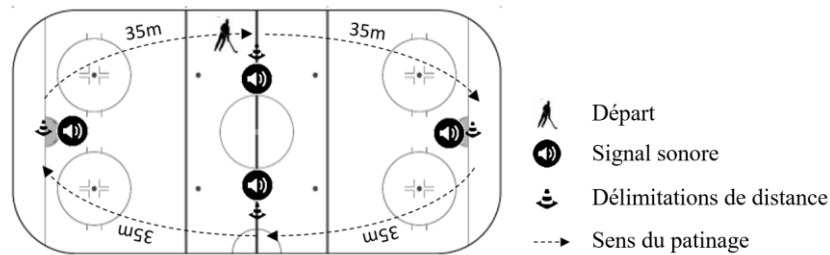


Figure 1.1 : Épreuve d'endurance cardiovasculaire sur glace adaptée de Ferguson et al. (1969).

Ferguson et al. (1969) apporte au-delà de ces résultats, une réflexion intéressante concernant les habiletés de patinage. Il constate une variabilité interindividuelle de la $\dot{V}O_2$ ($\pm 15\%$) considérablement plus grande comparativement à un coureur entraîné et non entraîné (5% à 7%) observé dans l'étude de Margaria et al. (1963). L'auteur suggère que cette variabilité interindividuelle est liée à une différence en termes d'habiletés de patinage comme la capacité à réaliser de grands virages à chaque extrémité de la patinoire. Répercussion que l'auteur a tenté de minimiser dans son étude en permettant aux sujets de choisir la direction de l'épreuve de patinage en fonction des habiletés techniques du participant. Malgré cela, l'auteur démontre que pour une même vitesse ($21\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$), le $\dot{V}O_2$ en course à pied (Margaria et al., 1963), en hockey sur glace (Ferguson et al., 1969) et en patinage de vitesse (Ekblom et al., 1967) diffère grandement (respectivement de 69, 40 et $34\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Il compare d'ailleurs ses données à celles de Ekblom et al. (1967), et émet l'hypothèse qu'un patineur de vitesse aurait une meilleure efficacité de patinage qu'un joueur de hockey. L'auteur ne peut affirmer ces propos puisque ses données ne sont pas strictement comparables en raison de la charge supplémentaire imposée aux participants durant l'épreuve (équipement de

hockey et analyseur de gaz pesant 10kg), mais également en raison des différences de distances parcourues dans les deux études. On sait de plus qu'il existe des différences biomécaniques, reliées aux dimensions de la lame du patin à glace, qui améliore la glisse en diminuant la résistance de friction, mais aussi qu'en hockey sur glace, les phases de glisses en ligne droite sont rares contrairement au patinage de vitesse où la minimisation des résistances aérodynamiques et de frottement sont fortement corrélées avec la performance (Federolf et al., 2008). Ces arguments sous-entendent que les différences énergétiques observées entre un patineur de vitesse et un joueur de hockey, sont liées aux exigences spécifiques de la discipline, qui influencent l'économie de patinage.

Bien que ce test fournit des informations acceptables, il s'avère difficilement applicable par les entraîneurs puisque celui-ci nécessite entre autres de l'équipement dispendieux, la présence d'un spécialiste et se limite à l'évaluation individuelle rendant son application trop contraignante pour les entraîneurs. Pour remédier à cette problématique, Larivière et Godbout (1976) ont établi un autre protocole d'évaluation comportant des normes par catégorie allant de Novice à Midget. L'épreuve consiste simplement à parcourir la plus grande distance possible en 8 minutes conformément à un parcours ovale prédéterminé (figure 1.2).

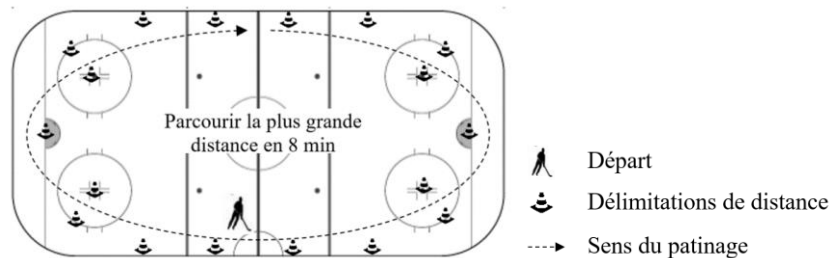


Figure 1.2 ; Épreuve d'endurance cardiovasculaire sur glace adaptée de Marcotte (1973).

Cependant, les résultats obtenus par ce type d'évaluation accordent une fiabilité test retest ($r=0,75$) inférieure au protocole précédent ($r=0,94$), ce qui indique que les résultats obtenus lors de ce test sont moins bien répétés que dans l'épreuve précédente, laissant place à une marge d'erreur plus grande dans son interprétation. Lariviere et al. (1976) ont adapté leur propre protocole en réduisant le temps d'effort à 5min. Carroll et al. (1993) en réduisant la distance parcourue à 110m, ou encore par Rhodes (1990) en imposant un virage différent à chaque extrémité de la patinoire afin de réduire l'impact énergétique, lié aux habiletés techniques de patinage, sur le résultat du test (figure 1.3). La corrélation obtenue a été moins élevée ($r=0,60$) entre cette épreuve et celle sur test sur tapis roulant, que celle obtenue ($r=0,70$) par Larivière et al., (1976). L'épreuve consistait simplement à parcourir la plus grande distance possible en 12 minutes, reproduisant ainsi le test « Cooper » en course à pied (Cooper, 1968).

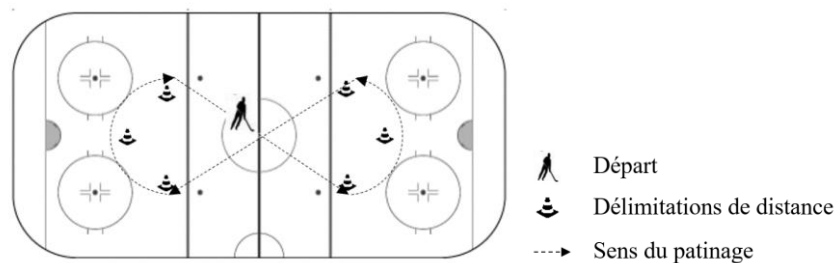


Figure 1.3 : Épreuve d'endurance cardiovasculaire sur glace adaptée de Rhodes (1990)

La problématique retenue de chacune de ces épreuves, concernant la fiabilité test-retest, a été probablement le manque d'un rythme imposé par un signal sonore, permettant au joueur de reproduire l'épreuve dans les mêmes conditions. Petrella et al. (2007) s'engagea donc à évaluer 406 joueurs de hockey sur glace afin d'actualiser les normes aérobies des joueurs âgés de 9 à 25 ans, mais aussi à produire une équation de prédiction de la dépense énergétique à l'aide d'un test où la vitesse est imposée et la reproductivité

de celui-ci serait meilleure. Les variables prédictives utilisées pour cette équation ont été l'âge, le poids corporel, la taille et la distance maximale effectuée durant l'épreuve. Les résultats ont permis de prédire la valeur du $\dot{V}O_2\text{max}$ avec une erreur standard non négligeable de $\pm 7,25\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Malgré une forte corrélation ($r=0,77$; $p<0,01$), plusieurs points ont été toutefois soulevés concernant la spécificité du test. Premièrement, l'épreuve a été réalisée en continu contrairement aux caractéristiques intermittentes du jeu décrites par de nombreux auteurs (Brocherie et al., 2018; Cox et al., 1995; Green et al., 1976; Montgomery, 2006). En effet dans cette épreuve, le joueur a dû effectuer plusieurs allers-retours de 48m sans s'arrêter (virage large) et en suivant un rythme imposé par une bande sonore (figure 1.4), ne reflétant pas les multiples changements de direction présents dans une partie de hockey.

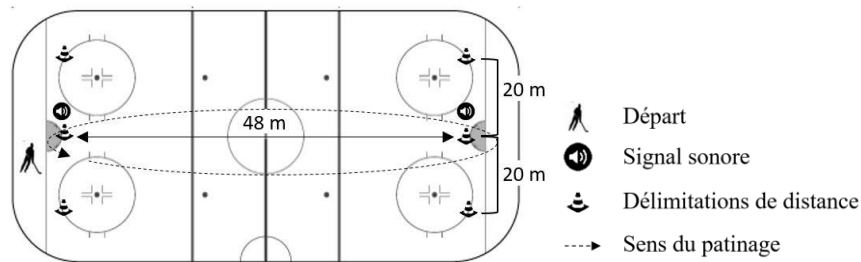


Figure 1.4 : Épreuve d'endurance cardiovasculaire sur glace adaptée de (Petrella et al., 2007)

De plus, l'incrémentation, choisie pour ce test, semble trop rapide puisque le premier palier, à vitesse constante, ne dure que 45s et que la durée des paliers subséquents a été diminuée dans le but d'augmenter la vitesse de patinage. Par exemple, pour le dernier palier, le joueur doit maintenir une vitesse de $26,1\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ sur une durée de 17,5s avant de changer de vitesse. Cette durée, trop courte, augmenterait la contribution du système anaérobie au détriment d'un effort qui se veut majoritairement aérobie (Haff et Triplett, 2016; Lamb, 1995). On peut également soulever le fait que, pour ce test, le joueur a dû

porter que très peu d'équipement (des patins à glace, des gants, un casque et un bâton de hockey). Pourtant, comme l'ont mentionné Noonan et al. (2007) et Léger et al. (1979), le port de l'équipement modifie de façon non négligeable la dépense énergétique. Il aurait été, par conséquent, intéressant que ce test soit effectué avec l'équipement complet du joueur de hockey afin de reproduire toutes les exigences spécifiques de la discipline.

Ce test fût également comparé à deux autres tests sur glace dans le but d'identifier l'épreuve la plus représentative au hockey sur glace (Léger et al., 2007). Les auteurs ont suggéré de privilégier, dans l'ordre suivant, l'application du test SMAT validé par Leone et al. (2007) suivi du test navette 20m adapté sur glace proposé par Kuisis (2007). Cet ordre de préférence a résulté d'une comparaison statistique des auteurs.

En utilisant le test sur tapis roulant comme valeur de référence, le test « Faught Aerobic Skating Test » (FAST) a obtenu la plus faible corrélation ($r=0,41$) contrairement aux deux autres tests sur glace ($r=0,74$; $r=0,73$). En se référant au test navette de 20m en gymnase, le FAST apparaît de nouveau comme le test le moins valide ($r=0,63$) comparativement aux autres tests sur glace ($r=0,84$). Les auteurs ont également comparé, subjectivement, la spécificité de chaque épreuve (les compétences de base en patinage, l'intensité et la validité des épreuves, les adaptations musculaires et cardiovasculaires ainsi que les habiletés générales au hockey sur glace), et pour laquelle le test FAST a été jugé le moins représentatif. Pour mieux comprendre ces distinctions, voici un court descriptif des deux autres tests.

Kuisis (2007) a tenté de reproduire, par le biais d'une étude expérimentale seulement, le traditionnel test de course navette de 20m sur glace (figure 1.5) dans le but d'imposer les multiples arrêts et départs à chacune des extrémités, ne figurant pas dans le protocole de Petrella et al. (2007).

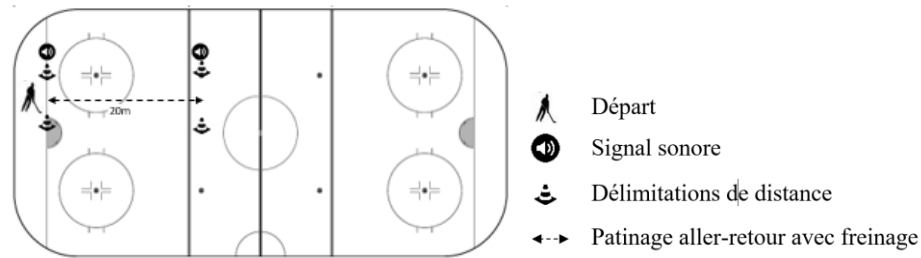


Figure 1.5 : Épreuve d'endurance cardiovasculaire sur glace adaptée de Kuisis (2007).

Elle compara pour cela 4 versions du test en modifiant la vitesse initiale. Les conclusions de cette étude ont été que le format original du test de course navette 20 m surestimé considérablement le $\dot{V}O_2\text{max}$ des joueurs de hockey, notamment en raison des différences significatives d'efficacité mécanique observées ($p \leq 0,001$) entre le patinage sur glace ($6,83 \pm 1,49$) et la course à pied ($4,92 \pm 0,59$) obtenu par l'équation de Montgomery (1988) suivante :

$$\text{Efficacité mécanique} = \frac{\text{vitesse (m/min)}}{\dot{V}O_2 \text{ max (ml/kg/min)}} \times 100$$

Montgomery (1988)

L'auteur a établi, par conséquent, une version modifiée en augmentant la vitesse pour chacun des paliers. L'épreuve a démontré une fiabilité test-retest ($r=0,87$; $p < 0,001$) et semblait bien corrélée avec les mesures en course à pied ($r=0,73$; $p \leq 0,01$). La version finale a permis de prédire le $\dot{V}O_2\text{max}$ avec une erreur dans l'estimé de $5,93 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ($r=0,74$), ce qui est plus précis que le test FAST. Contrairement à ce dernier, la taille, le poids, l'âge et le sexe n'ont pas été des prédictes significatifs dans l'analyse de régression, probablement en raison de la taille de l'échantillon trop faible ($n=5$

hockeyeurs ; n=5 patineuses artistiques) ainsi que les différences biomécaniques existantes entre les deux disciplines sportives.

Pour conclure son étude, l'auteur a mis en évidence l'importance de concevoir une épreuve de patinage intermittente et d'établir une équation de régression pour les différentes catégories de joueurs (peewee, bantam, midget, junior et professionnel) tout en considérant les répercussions possibles du nombre de coups de patin sur la performance. La spécificité du jeu intermittent au hockey impose aux joueurs de maintenir une posture de patinage pour une durée maximale d'environ 30 à 45 secondes par présence sur la glace. Choisir, par conséquent, une épreuve aérobie en continu apparaît inusitée et favoriserait une fatigue musculaire inappropriée au niveau du dos pendant l'épreuve, pouvant affecter les résultats de l'épreuve.

Ces aspects ont été considérés dans le protocole de test de Leone et al. (2007). Le SMAT, qui est un test intermittent de patinage navette à paliers multiples, utilisé pour prédire la puissance maximale aérobie des joueurs de hockey élite, à l'aide d'une équation de régression ($r=0,96$, $SEE=3,02\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), offrant davantage de précision dans ces résultats comparativement aux autres tests. Le protocole consiste à patiner à une vitesse prédéterminée à l'aide d'un signal sonore sur une période de 1min, suivi d'une période de récupération de 30s. Les joueurs effectuent l'épreuve avec leur équipement complet et sont tenus de freiner à chaque extrémité du parcours de 45m (figure 1.6). La vitesse de patinage initiale confortable a été fixée à $3,5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, comparable à la première étape du test de patinage navette de 20m modifié sur glace (Kuisis, 2007). L'incrémentation de $0,2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ correspondait à une augmentation d'environ 1 MET (metabolic equivalent of task) par palier, représentatif de ce que l'on retrouve dans de nombreux protocoles de terrain (Léger et al., 1988).

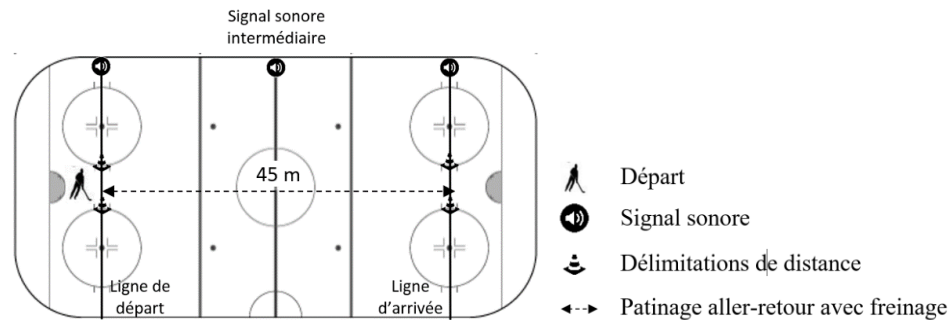


Figure 1.6 : Épreuve d'endurance cardiovasculaire sur glace adaptée de Leone et al. (2007).

Dans cette étude, la puissance aérobie a été déterminée à l'aide d'une méthode par rétro-extrapolation de la courbe de récupération d' O_2 , validée par plusieurs études (Léger et al., 1980; Leger et al., 1982; Montpetit et al., 1981). Celle-ci consiste à mesurer la consommation d'oxygène lors de la récupération post-effort et d'en rétroextrapoler les valeurs mesurées jusqu'au temps zéro, ce rapportant au $\dot{V}O_2$ en fin d'exercice. Néanmoins, avec l'avènement des technologies modernes telles que les analyseurs métaboliques portables automatisés validés par McLaughlin et al. (2001), Allisse et al. (2018) ont obtenu davantage de précisions dans leur équation de régression puisque celle-ci a permis de réduire l'erreur dans l'estimé ($SEE=2,19\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) grâce à un enregistrement des valeurs métaboliques en continu (respiration / respiration). Les auteurs font finalement des conclusions intéressantes concernant les répercussions physiologiques du nombre de coups de patin sur la performance, que nous développerons dans le prochain paragraphe. Avant cela, il est intéressant de noter l'existence de deux autres protocoles intermittents.

Le premier provient de Durocher et al. (2008), qui ont établi un protocole de test navette intermittente dont l'objectif a été d'évaluer, par mesure directe uniquement, le $\dot{V}O_{2\text{max}}$ des joueurs de hockey ainsi que le taux d'accumulation de lactate. Le test consistait à

effectuer huit fois la distance attribuée (quatre allers-retours) à chaque palier de 80s, à laquelle s'ajoutait une période de récupération de 40s. Le joueur devait suivre un rythme prédéterminé par un signal sonore, qui lui imposait de freiner à chaque extrémité toutes les 10s, et ceci jusqu'à la fin du palier de 80s. La distance au début de l'épreuve a été de 26m pour les hommes, et a été ensuite augmentée de 3m, entre chaque palier, dans le but d'augmenter progressivement la vitesse de l'épreuve (figure 1.7).

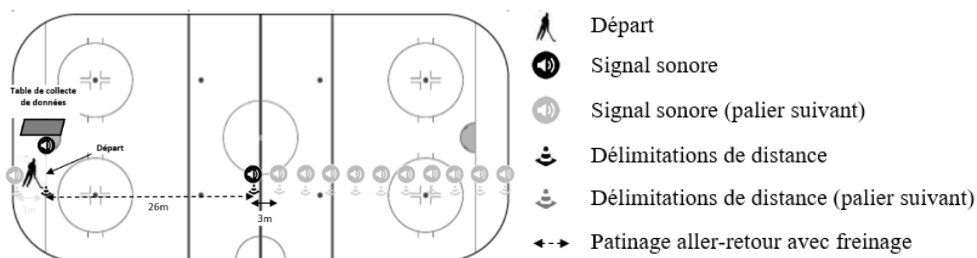


Figure 1.7 : Épreuve d'endurance cardiovasculaire sur glace adaptée de Durocher et al. (2008)

Pour les entraîneurs, la principale contrainte de ce protocole est que, sans équation de prédiction, celui-ci requiert un équipement dispendieux (analyseur métabolique), que la plupart des entraîneurs ne possèdent pas, et ne permet pas d'évaluer plusieurs joueurs simultanément, rendant le processus d'évaluation d'une équipe très compliqué. L'auteur mentionne également que certains joueurs ont dû utiliser l'intégralité de la longueur de patinoire pour finir leur épreuve, malgré un $\dot{V}O_2\text{max}$ moyen de $52,7 \pm 1,3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Cela suggère que les joueurs avec un $\dot{V}O_2\text{max}$ supérieur, à environ $54 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, ne pourraient donc pas réaliser ce protocole à cause de la distance trop courte de la patinoire. Or il n'est pas rare de voir des $\dot{V}O_2\text{max}$ plus élevées dans de nombreuses études (Lignell et al., 2018; Steeves et Campagna, 2018; Triplett et al., 2018). À la différence du test SMAT, ce protocole a sollicité un nombre plus élevé d'arrêt et de départ, ce qui a pu également contribuer à augmenter la contribution

des qualités musculaires et des qualités techniques de patinage pour ce test. Or, il s'avère plus judicieux de réduire l'impact de ces variables, en utilisant par exemple le test SMAT, afin d'améliorer l'interprétation des résultats et optimiser la contribution du système aérobie dans l'équation de prédiction.

Le second test plus récent, issu de Buchheit et al. (2011), se distingue du test SMAT sur quelques points. En effet, les temps de patinage (30s) et de récupération (15s) ont été diminués de moitié par rapport au temps d'actions du test SMAT (1min pour 30s de récupération), et ceci malgré une augmentation similaire de la vitesse par palier ($0,18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ vs $0,2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). Ceci a pour incidence d'augmenter la contribution anaérobie pour cette épreuve et remet, par conséquent, en cause la pertinence du test 30-15 intermittent ice test (30-15IIT) dans un contexte d'évaluation du $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$.

Les auteurs justifient cependant leur proposition de ratio d'intervalle (30-15) en s'appuyant sur les travaux d'Astrand et al. (1960). Buchheit et al. (2011) ont conclu qu'une période d'effort, de 1min à vitesse élevée, a possiblement déclenché une activité glycolytique importante, qui a pu affecter les performances des joueurs lors du test SMAT. Il a été pourtant admis que les paliers d'une durée de 1min ont permis d'obtenir des résultats significatifs. D'ailleurs, le célèbre test de course navette de 20m en a été un parfait exemple (Léger et al., 1988). La durée de 1min est apparue comme une durée minimum à respecter pour évaluer la capacité aérobie sans que la contribution anaérobie ne soit trop importante (Beltz et al., 2016). La durée de 30s d'effort par palier jumelé à une progression rapide de la vitesse par palier est, par conséquent, moins appropriée pour évaluer le $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$. En se référant cette fois-ci à l'étude de Thevenet et al. (2007), Buchheit et al. (2011) ont recommandé d'utiliser une période de récupération de 15s au lieu de 30s, afin d'éviter une baisse trop importante du $\dot{V}\text{O}_2$ entre les paliers, pouvant accroître la dette d'oxygène et l'accumulation de lactate dans le sang dès le début du palier suivant. Or, dans un test progressif, la dette d'oxygène

est proportionnelle à l'augmentation de l'intensité de l'épreuve. Ainsi, le remboursement de cette dette d'oxygène, pendant l'effort du palier suivant, est tout à fait réalisable. Il faut noter que l'étude de Thevenet et al. (2007) s'est penché sur la notion de temps limite passé à un haut pourcentage de $\dot{V}O_2$, lors d'un exercice intermittent (30/30) à 105% de la vitesse maximale aérobie (VMA) jusqu'à épuisement. Ils ont constaté, entre autres, une diminution du $\dot{V}O_2$ avant la fin de l'exercice, amenant aux conclusions de Buchheit et al. (2011). Il faut toutefois reconnaître que ce contexte d'entraînement diffère grandement du contexte d'évaluation, puisque les participants ont dû maintenir une VMA élevée (105%) dès le début de l'exercice, contrairement à un test progressif permettant d'évaluer le $\dot{V}O_{2max}$. La période de 30s de récupération entre les paliers n'a d'ailleurs pas affecté les valeurs de $\dot{V}O_2$ à la baisse dans l'étude de Leone et al. (2007). De plus, ces derniers auteurs ont surtout recommandé une période de récupération de 30s dans l'objectif de diminuer la sollicitation musculaire prolongée au niveau du dos (présente dans un test continu) et ainsi de respecter la posture de patinage, communément employée par les joueurs de hockey.

La nuance à retenir pour le test 30-15IIT se résume au fait que celui-ci ne permet pas d'évaluer adéquatement le $\dot{V}O_{2max}$, mais bien plusieurs qualités simultanément (aérobie, anaérobie et neuromusculaire) afin d'identifier une vitesse de référence pour des entraînements intermittents très courts. Bien que Besson et al. (2013) ont démontré que les deux versions du test (sur glace et en gymnase) ont permis d'obtenir des valeurs de $\dot{V}O_{2pic}$ pratiquement identiques ($r=0,93$; $p=0,001$), on remarque que les corrélations entre la vitesse maximale et la dépense énergétique ont été probablement influencées par plusieurs variables (le niveau, la discipline, le sexe et l'âge des joueurs). En effet, Buchheit (2008) démontre une corrélation significative ($r=0,68$; $p<0,05$) pour un groupe de jeune basketteur et handballeur de niveau régional ($n=59$; 27 filles et 32 garçons; $16,2\pm 2,3$ ans), tandis que Besson et al. (2013) n'ont trouvé aucune corrélation significative dans les deux versions du test ($r=0,523$; $p=0,12$ et $r=0,601$; $p=0,07$) pour un groupe de joueurs de hockey masculins de ligue B suisse ($n=10$; 24 ± 6 ans). Cela

démontre que, dans un groupe homogène, la vitesse maximale ne peut pas être utilisée pour prédire le $\dot{V}O_{2pic}$.

On peut comprendre que ce type test établit un aperçu des qualités physiologiques propres à un exercice intermittent très court (30/15), mais on peut toutefois émettre l'hypothèse que la V30-15IIT ne permettrait pas d'établir une prescription très précise selon le type d'intervalle choisi (10/10, 20/20, 30/30, etc.) puisque la contribution du système anaérobie est sensiblement différente selon la durée des intervalles et/ou de la récupération. Pour ces multiples raisons, nous revendiquons qu'un test aérobie se doit de limiter, le plus possible, la contribution d'autres qualités pour évaluer adéquatement le $\dot{V}O_{2max}$, et par conséquent, qu'une évaluation distincte de la capacité anaérobie est recommandée pour adapter l'intensité des intervalles à l'entraînement.

1.3.3 Influence des habiletés techniques de patinage

Bien que les tests de terrain à paliers multiples constituent un outil extrêmement utile pour l'évaluation de la puissance aérobie maximale, ils négligent souvent l'impact de l'efficacité mécanique. On constate que, dans leur forme originale, la plupart des tests sur le terrain supposent que les participants, qui atteignent la même vitesse, absorbent la même quantité d'oxygène. Cependant, plusieurs études ont démontré que l'efficacité mécanique pouvait jouer un rôle important, en terme de dépense énergétique dans de nombreux sports, en particulier ceux exigeant un niveau élevé de compétences techniques telles que la natation (Lavoie et al., 1985), le ski de fond (Haug et al., 1999), l'aviron (Shaharudin et Agrawal, 2016) et le hockey sur glace (Allisse et al., 2018). En prenant par exemple deux participants physiquement identiques, qui courent à la même vitesse, celui avec la meilleure technique aurait probablement une absorption d'oxygène plus faible. Folland et al. (2017) ont démontré, en ce sens, que la technique en course à pied pouvait représenter jusqu'à 39% de la variance de l'économie de course. En 1988, Lavoie et al., ont donc proposé une méthode simple, sur la base des travaux

de Craig et Pendergast (1979), pour corriger les valeurs prédites de $\dot{V}O_2\text{max}$. Celle-ci a pris en compte les différences d'efficacité de nage des participants, par le biais de ce qu'ils appellent l'indice de mouvements de bras (Arm Stroke Index : ASI). L'ASI a été déterminé, par les auteurs, en faisant le décompte des mouvements de bras des participants sur une distance de 125m à un rythme librement déterminé. L'équation a été la suivante:

$$\text{ASI} = S125\text{m} \cdot v^{-1} \quad (\text{équation \#})$$

Dans celle-ci, « S125m » était le nombre de tractions de bras sur une distance de 125m et « v » était la vitesse moyenne ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$). Ainsi, une valeur ASI a permis d'identifier le niveau d'efficacité de nage des participants.

Il est malgré cela intéressant de noter que la masse corporelle d'un nageur est soutenue par la pression hydrostatique et, par conséquent, que son impact sur l'efficacité mécanique est négligeable. Ceci n'est cependant pas le cas dans les activités où le poids est supporté par le participant, comme le hockey sur glace. Les joueurs doivent déplacer et soutenir leur propre poids corporel lorsqu'ils patinent. Donc, selon la seconde loi de Newton, la force nécessaire pour accélérer ou ralentir dépend de la masse. Cela étant particulièrement important dans une discipline telle que le hockey sur glace, où les joueurs doivent souvent s'arrêter et repartir. On s'attend donc à ce que le poids soit pris en compte lors de l'évaluation de l'efficacité mécanique de patinage, ce qui permettrait probablement d'ajuster l'estimation du coût énergétique. En se basant sur l'étude de Lavoie et Leone (1988), Allisse et al. (2018) ont donc développé un indice d'efficacité de patinage appelé « Skating Stride Index » (SSI), qui a permis d'affiner la prédiction du $\dot{V}O_2\text{max}$ ($r=0,95$, $\text{SEE}=1,92\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

Parmi l'ensemble des tests existants à ce jour, le test SMAT apparaît, à notre connaissance, comme le protocole sur glace offrant la plus grande précision dans

l'estimation du $\dot{V}O_2\text{max}$, mais permet surtout d'obtenir des informations utiles concernant l'efficacité de patinage. Ainsi, pour deux joueurs finissant leur épreuve aérobie à $4,6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, leur valeur de $\dot{V}O_2\text{max}$ estimée pourrait être comprise entre $47\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ et $52\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ dépendamment de leur efficacité de patinage. On constate ainsi que le volume d'entraînement devant être consacré au développement d'une qualité, telle que le $\dot{V}O_2\text{max}$ ou l'efficacité de patinage, peut être différent d'un joueur à un autre, même s'il termine au même palier.

1.4 L'importance de l'évaluation anaérobie

De nombreux auteurs (Brocherie et al., 2018; Burr et al., 2008; Green, 1978; Léger, 1980; Montgomery, 1988; Seliger et al., 1972) ont démontré que le hockey sur glace nécessite une contribution importante du système anaérobie, en raison notamment des temps d'actions très courts ($< 4\text{s}$) et d'une accumulation élevée de lactate, engendrée par la répétition d'efforts intenses en situation de match ($8,7$ à $15,1\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). En effet, au cours d'une présence sur glace, d'une durée maximale de 60s à 80s , les joueurs effectuent en moyenne 5 à 7 sprints à haute intensité et bénéficient ensuite d'un repos passif sur le banc de 3 à 5 minutes, permettant une resynthèse suffisante des stocks de phosphagènes nécessaires à la production d'efforts explosifs. Ceci justifiant, entre autres, la pertinence des mesures de puissance et de capacité anaérobie chez les joueurs de hockey sur glace. L'application de divers protocoles d'évaluation en laboratoire a donc été entreprise pour expliquer les performances sur glace.

1.4.1 L'évaluation de la puissance anaérobie alactique hors glace

Depuis de nombreuses années, la LNH utilise différents protocoles d'évaluation hors glace pour prédire les performances de leurs recrues (Nightingale et al., 2013). Certains auteurs ont ainsi démontré l'existence d'une relation significative entre le sprint linéaire sur glace et l'évaluation de la puissance anaérobie alactique hors glace. Bracko

et George (2001) ont constaté de fortes corrélations ($r=0,72$; $p<0,05$) entre la vitesse de patinage (sur 44,8m) et la durée du sprint en course à pied (sur 36,6m). Les auteurs ont ainsi développé une équation de prédiction basée sur le poids corporel et les performances de sprint en course à pied ($r^2=0,58$; $r=0,76$; $SEE=0,327$). Farlinger et al. (2007) ont rapporté des conclusions similaires ($r=0,78$) à l'aide de protocoles légèrement différents. En effet, les distances sur glace ont été de 35m au lieu de 44,8m et de 30m au lieu de 36,6m sur le terrain dans l'étude précédente. Les auteurs ont, de plus, souligné que le saut vertical ($r=-0,71$), le saut horizontal ($r=-0,74$) ont été également fortement corrélées au sprint de 35m sur glace ($p<0,001$). Ces constats ont également été soutenus dans d'autres études (Delisle-Houde et al., 2019; Potteiger et al., 2010).

On note, cependant, que ces relations restent discutables. En effet, de nombreux auteurs ont soulevé l'importance de privilégier l'évaluation de la puissance anaérobie alactique sur glace, et non les épreuves hors glace, en raison des corrélations non significatives entre ces deux modalités d'évaluation (Bracko et George, 2001; Farlinger et al., 2007; Gilenstam et al., 2011; Runner et al., 2016). Par exemple, Bracko et George (2001) ont obtenu aucune corrélation significative entre le temps de sprint sur glace et le test de détente vertical. Cela étant contradictoire aux conclusions de Farlinger et al. (2007). Ce manque de relation avec les tests hors glace a été documenté par certains chercheurs prétendant que ces différentes modalités d'évaluations requièrent des mouvements biomécaniquement distincts, responsables d'une sollicitation musculaire unique pour chaque épreuve (Behm et al., 2005; Durocher et al., 2010; Matthews et al., 2010). Watson et Sargeant (1986) et Power et al. (2012) ont, en ce sens, constaté des valeurs de puissance significativement plus élevées sur glace que hors glace. Boucher et al. (2017) ont indiqué que les coefficients de détermination, dans leur étude, ont expliqué au mieux 24% de variance commune, ce qui suggérait qu'au moins 76% de la performance sur glace a été expliquée par d'autres facteurs.

En raison de ces résultats divergents et de la présence d'éléments inexplicables, il apparaît donc important d'investiguer de nouveaux protocoles d'évaluation sur glace, afin de permettre une interprétation plus précise des paramètres physiologiques sur glace, et ainsi de clarifier les relations existantes entre les tests hors glace et sur glace. On note, toutefois, que la pertinence d'utiliser ces tests hors glace reste fondée, mais non à privilégier, dans un contexte où il est difficile d'accéder à la glace en dehors de la saison régulière, comme ont pu le mentionner certains auteurs (Bracko et George, 2001; Farlinger et al., 2007). Toutefois, Haukali et Tjelta (2016) et Allisse et al. (2017) ont indiqué que l'amélioration des habiletés de patinage hors saison requiert l'application d'une période d'entraînement spécifique sur glace, ce qui confirme l'intérêt d'évaluer ses joueurs sur glace.

1.4.2 L'évaluation de la puissance anaérobie alactique sur glace

Au cours des dernières décennies, quelques auteurs ont utilisé des épreuves dans le but d'évaluer la puissance anaérobie alactique sur glace, dont le principal élément d'évaluation a été le temps nécessaire pour accomplir une distance donnée, allant de 30m à 55m (Allisse et al., 2017; Haukali et Tjelta, 2016; Janot et al., 2015; Lariviere et al., 1976; Potteiger et al., 2010; Runner et al., 2016). Or, il est assez rare de voir un joueur réaliser une distance de 55m en sprint maximale lors d'un match de hockey. Les distances proposées par Larivière et Godbout (1976) et Runner et al. (2016) semblent donc plus appropriées aux spécificités de la discipline (environ 30m). Les auteurs suggèrent, à cet effet, de mesurer le temps requis pour parcourir une distance en patinage avant à partir d'un départ arrêté, et supposent donc que le joueur le plus rapide développera une puissance plus élevée. Parmi ces auteurs, Larivière et al. (1991) sont les seuls à avoir proposé des valeurs normatives, permettant aux entraîneurs d'apprécier le niveau de compétence sur glace des joueurs. De plus, l'application conviviale de leur épreuve facilite sa mise en place en demandant peu de matériel et de temps.

Bien que cette information soit pertinente, l'interprétation physiologique des résultats reste succincte. En effet, Allisse et al. (2019) ont démontré que l'introduction d'un indice d'efficacité de patinage et de variables simples à obtenir, comme l'âge, le poids corporel, la fréquence cardiaque et le nombre de foulées, ont permis d'estimer la réponse métabolique (coût en O_2) liée à l'épreuve. Les équations de régression linéaire multiple développées par les auteurs ont affichées des corrélations généralement élevées (entre 0,91 et 0,93) avec une erreur-type dans l'estimée des valeurs prédites de $\dot{V}O_2$ variant de 4,5% à 8,4%, ce qui est considéré comme étant excellent pour des épreuves de terrain.

On constate que dans les activités de courte durée et d'intensité élevée, la relation entre l'intensité et le temps d'exécution n'est pas aussi bien définie que dans les activités d'aérobie. En fait, lors d'un effort bref et intense, un déficit en oxygène est créé au début et/ou au cours de l'effort. Ce déficit doit être remboursé à la fin de l'exercice en raison de la dette en oxygène (Flandrois et Lacour, 1977), qui génère une augmentation de l'absorption d'oxygène, y compris après l'arrêt de l'exercice. Selon Zamparo et al. (2011), la contribution anaérobie alactique serait associée à la cinétique du $\dot{V}O_2$ post effort (durée de remboursement de la dette en oxygène) et à la dégradation de la phosphocréatine dans le muscle actif. D'ailleurs, une méthode rapportée pour estimer la contribution des sources d'énergie alactiques, est basée sur l'analyse de la composante rapide de la cinétique de $\dot{V}O_2$ post effort (Beneke et al., 2002; Di Prampero et al., 1970; Di Prampero et Ferretti, 1999; Di Prampero et Margaria, 1968; Margaria et al., 1933). Les équations développées par Allisse et al. (2019) ont donc apporté, sans aucun doute, des informations supplémentaires intéressantes pour l'évaluation des qualités de puissance anaérobie alactique sur glace. Les auteurs ont fait, en ce sens, un constat intéressant mentionnant que le temps à lui seul n'est pas un bon prédicteur de la consommation d'oxygène, ce qui pourrait être également le cas pour la production de puissance en watts.

1.4.3 L'évaluation de la capacité anaérobie lactique hors-glace

Le « Cunningham and Faulkner Treadmill Test » (Cunningham et Faulkner, 1969) a été probablement l'une des premières épreuves de capacité anaérobie lactique administrée à des joueurs de hockey de niveau junior (Green et Houston, 1975). Celui-ci consistait à courir le plus longtemps possible sur un tapis roulant à 20% de pente, et dont la vitesse était fixée à $3,6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Or, par ces caractéristiques non explosives, cette épreuve ne permettait pas d'obtenir des valeurs de puissance maximale, essentielle dans cette discipline. De plus, Brayne (1986) a rapporté que le temps moyen (74,8s) a été que très faiblement corrélé ($r=-0,05$) à l'indice de capacité anaérobie sur glace développé par Reed et al. (1979) et dont le protocole est expliqué plus loin.

Par conséquent, Stevens et Wilson (1986) ont établi de nouvelles normes à l'aide du traditionnel test « Wingate », validé par Bar-Or (1987) et pour lesquelles, Rhodes et al. (1987) ont retrouvé des valeurs de puissances similaires pour les attaquants et les défenseurs. Toutefois, Watson et Sargeant (1986) ont trouvé des valeurs significativement supérieures sur glace comparativement à celles enregistrées avec le protocole Wingate, suggérant que le test serait plus spécifique sur glace.

D'autres auteurs (Montgomery et al., 1990; Serresse et al., 1989) ont donc élaboré, sur la base des travaux de Jacobs et al. (1982), deux nouveaux protocoles de capacité anaérobie, dont la pertinence a été confronté dans l'étude de Koziris et Montgomery (1992). Le test « intermittent cycling test » de Montgomery et al. (1990) consistait à effectuer six efforts maximaux d'une durée de 15s, entrecoupés de 15s de récupération et se terminant au bout de 90s. Le second test « The Quebec 90s test » de Serresse et al. (1989), imposait aux joueurs un effort maximal continu semblable au protocole Wingate mais dont la durée était de 90s. Les résultats ont mené à des valeurs de lactate et de puissance moyenne supérieure pour l'épreuve intermittente, ainsi qu'un indice de fatigue plus faible, suggérant que le test intermittent fournit des résultats, en termes de

puissance et de capacité anaérobie, plus appropriés aux exigences de la discipline. En effet, en utilisant la puissance maximale et la puissance moyenne comme variables prédictives, 76% des joueurs ont pu être correctement classés en fonction de leur niveau de jeu. De plus, la fiabilité ($r=0,93$) et l'objectivité ($r=0,99$) confirment que ce protocole peut être une alternative intéressante pour évaluer la capacité anaérobie hors-glace.

Les auteurs ont également validé ce protocole en mentionnant aucune différence significative entre les exigences métaboliques sur glace et hors-glace, pour lequel le $\dot{V}O_{2pic}$ a été estimé à 97,8% du $\dot{V}O_{2max}$. Ce point est particulièrement intéressant puisque Bangsbo et al. (1990) ont rappelé que la mesure du déficit en oxygène, de la dette en oxygène et de la production de lactate sont associées à l'appauvrissement des concentrations musculaires en adénosine triphosphate et en phosphocréatine, sources d'énergie anaérobie. En se référant donc aux travaux de Margaria et al. (1933) et de Di Prampero et Ferretti (1999), on pourrait aisément estimer la quantité d'énergie du métabolisme anaérobie lactique ou encore estimer l'accumulation de lactate dans le sang au cours de l'exercice. En effet, les auteurs ont mentionné qu'une augmentation de 1 mmol^{-1} de lactate équivaut à $3,3 \text{ ml} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ puisque le déficit en oxygène résulte de l'apport simultané de trois sources d'énergie : les réserves d'oxygène, la dégradation de la phosphocréatine et l'accumulation précoce de lactate. Néanmoins, Saltin et al. (1972) ont mentionné que l'utilisation des mesures de déficit en oxygène pour des efforts intenses sont discutables en raison notamment de l'influence de l'efficacité mécanique sur la consommation d'oxygène. Dépendamment de l'impact de l'efficacité de patinage, on pourrait donc supposer que les joueurs ont obtenu, lors du test « intermittent cycling test », des valeurs de lactate aux alentours de $16 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$. Il serait par conséquent intéressant de vérifier si ce concept s'applique lors de l'évaluation de la capacité anaérobie lactique chez des joueurs de hockey sur glace puisqu'à notre connaissance, aucune étude ne l'a été validée.

Bien que ces mesures de puissance hors glace se sont avérées significativement liées aux mesures sur glace, les évaluations ont davantage de pertinence lorsqu'elles simulent les conditions réelles de l'exercice et qu'elles sollicitent les groupes musculaires de la même manière (Bracko et George, 2001; Farlinger et al., 2007; Montgomery, 1988; Watson et Sargeant, 1986). On peut citer les résultats de l'étude de Farlinger et al. (2007), qui ont constaté que la corrélation était sensiblement plus forte entre les tests de patinage sur glace ($r=0,70$; $p<0,001$) que certaines relations observées entre les tests hors glace et sur glace (par exemple la puissance absolue enregistrée au Wingate ($r=-0,68$), la puissance maximale au test de saut vertical ($r=-0,61$), ce qui a amené certains chercheurs à développer des épreuves spécifiques sur glace.

1.4.4 L'évaluation de la capacité anaérobie lactique sur glace

Le premier test de capacité anaérobie lactique sur glace a probablement été le 12x60 pieds (Larivière et Godbout, 1976; Larivière et al., 1991) pour lequel des normes ont été établies de la catégorie Novice à Junior et dont la fiabilité test-retest a été de 0,96. Le test consiste à réaliser une distance de 18,3 m le plus rapidement possible à 12 reprises sur un trajet aller-retour. La durée de l'effort varie de 45,9s à 73,3s dépendamment du niveau et de l'âge du joueur, ce qui permettait de respecter les recommandations de Green et al. (1976) et de Jacobs et al. (1982) pour l'évaluation de la capacité anaérobie lactique. Le but étant de connaître la valeur maximale de lactate pouvant être produite par le joueur de hockey, même si, lors d'une présence sur glace, les joueurs ne patinent pas en continu et à intensité maximale pendant plus de 50s (durée minimum de l'épreuve). Ce qui s'avère moins représentatif pour le test «Skating Anaerobic Skate», conçu à l'époque pour dupliquer le test anaérobie Wingate sur 40s. Le but était de pouvoir déduire les valeurs de capacité anaérobie et de puissance anaérobie sur glace. Le Skating Anaerobic Skate consistait à parcourir la plus grande distance possible en 40s sur un parcours aller-retour de 54,9m. Or, Jacobs et al. (1982) ont mentionné que la durée d'effort se devait d'être plus longue pour évaluer adéquatement la capacité

anaérobie lactique. De plus, Watson et Sargeant (1986) ont démontré que les résultats de puissance anaérobie étaient significativement plus élevés sur la glace ($p < 0,05$), ce qui a remis en cause la pertinence des tests en laboratoire. Les auteurs ont également comparé dans leur étude la pertinence du test « Reed Repeat Sprint » (RRS), développé par Reed et al. (1979) dont l'objectif était de comparer l'effort intermittent avec le Wingate. Le RRS consistait à effectuer six sprints linéaires de 91 m avec des périodes de repos de 30 secondes. Bien que Reed et al. (1979) ont rapporté des corrélations test-retest intéressantes ($r=0,78$), le RRS a été critiqué par Power et al. (2012) pour être trop exigeant, ne permettant pas aux joueurs d'exprimer leur plein potentiel anaérobie. On considère donc, à ce jour, que le test le plus pertinent pour évaluer la capacité anaérobie lactique est le 12x60 pieds (Larivière et Godbout, 1976; Larivière et al., 1991).

1.4.5 L'évaluation de la capacité à répéter des efforts intenses sur glace

En sports collectifs, les tests de capacités à répéter des sprints ont gagné en popularité auprès des entraîneurs sportifs (Meckel et al., 2009). Certains chercheurs ont donc tenté de comprendre la contribution des différentes filières énergétiques pour ce type d'efforts (Carey et al., 2007; Lowery et al., 2018) comme cela a pu être discuté dans le paragraphe précédent sur l'intérêt du $\dot{V}O_2\text{max}$ pour des joueurs de hockey. En effet, Carey et al. (2007) ont expérimenté un protocole de capacité à répéter de sprint pour étudier la contribution du système oxydatif sur les performances du joueur de hockey en fin de match. Cependant, ce protocole n'a pas été soumis à un processus de validation rigoureux, permettant d'utiliser cette épreuve à des fins d'évaluation des performances de capacité à répéter des efforts intenses sur glace. Effectivement, Nightingale et al. (2013) ont, en ce sens, reproché que la méthodologie de ce test était discutable en raison notamment des divergences de résultats pouvant être obtenus par l'utilisation d'un chronomètre manuel. Ce test consistait à réaliser 5 sprints (1 tour de glace) entrecoupés 30s de récupération, ne reflétant pas les conditions de jeu décrites par de nombreux auteurs (Brocherie et al., 2018; Léger, 1980; Montgomery, 1988).

Power et al. (2012) ont par conséquent élaboré un test de capacité à répéter des sprints, reposant sur 3 demi-tours de patinoire (49m) effectués le plus rapidement possible et entrecoupés de 10s de récupération entre chacun des demi-tours. Malgré que ce test offre des données pertinentes et spécifiques (coefficient de corrélation test-retest de 0,99), les auteurs mentionnent toutefois plusieurs problèmes méthodologiques. En effet, tout comme dans le test précédent, l'enregistrement des durées de sprints manuellement peut nuire à la précision des résultats (Ebben et al., 2009). On peut également mentionner qu'il aurait été intéressant de réduire le parcours puisque la durée des sprints ($10,1s \pm 0,92$) était trop longue pour reproduire la durée moyenne des sprints réalisés en situation de match, qui selon Brocherie et al. (2018) se situe plutôt à 2-4s, mais aussi pour interpréter la dégradation des stocks de phosphagènes (puissance anaérobie alactique). De plus, le parcours choisi n'est pas représentatif des principales accélérations maximales retrouvées en situation de match, ce qui aurait pu également être affecté par les habiletés de patinages (virage), tel que suggéré par Ferguson et al. (1969).

Dans l'étude de Lamoureux et al. (2018) les auteurs ont observé une corrélation modérée ($r=0,44$) entre l'économie patinage et la capacité à répéter des efforts intenses et intermittents. C'est pour cela que les tests de capacité à répéter des sprints se doivent de minimiser l'impact de l'agilité, et par conséquent, des habiletés techniques dans ce type d'épreuve (Hülka et al., 2014; Snyder et al., 2014). D'ailleurs, Almansba et al. (2017) ont indiqué que les sprints avec ou sans changement de direction requièrent deux capacités motrices différentes, en comparant le sprint linéaire avec le sprint multidirectionnel.

Bien que certains auteurs aient expérimenté de nouveaux protocoles de capacité à répéter des efforts intenses sur glace (Laurent et al., 2014; Rocznio et al., 2016), on ne retrouve pas, à notre connaissance, de protocole validé sur glace similaire au «

Running based Anaerobic Sprint Test » (Andrade et al., 2014; Nick et Whyte, 1997; Queiroga et al., 2013), dont la durée d'effort est bien plus représentative des actions au hockey sur glace (Brocherie et al., 2018; Montgomery, 1988) et pour lequel l'agilité et les habiletés techniques de patinage affecteront moins les résultats de l'épreuve.

1.4.6 L'évaluation de l'agilité sur glace

On définit l'agilité comme l'habileté à mettre en action son corps et/ou une partie de celui-ci par des changements de direction rapides et précis. On fait donc référence aux accélérations sur départ arrêté ou lancé, aux changements de direction et aux décélérations effectuées de manière explosives (Brown et Ferrigno, 2014; Cokke et al., 2011). Bracko et al. (1998) ont rappelé, pour cela, que la plupart des actions de patinage comme les freinages, les virages brusques et larges, les accélérations et les pivots sont des compétences importantes liées à la notion d'agilité, pour lesquelles très peu de protocoles sur glace ont été développés. Bien que certains auteurs aient tenté de trouver des relations entre les tests de performances hors glace et sur glace, aucune des variables de condition physique n'ont permis de prédire l'agilité de patinage avec une précision suffisante afin que ce type d'épreuves puisse être considéré comme une alternative satisfaisante (Bracko et George, 2001; Farlinger et al., 2007). En effet, l'agilité requiert des habiletés motrices spécifiques au sport pratiqué et s'avère donc difficilement transférable dans un autre contexte où les patterns de mouvement ne sont pas identiques (Marino, 1984). Bracko et George (2001) ont d'ailleurs constaté de faibles relations entre l'âge, l'expérience du joueur et l'agilité, indiquant que l'apprentissage technique et l'évaluation des habiletés de patinage nécessitent obligatoirement d'être fait sur glace. Nightingale et al. (2013) rapporte, en ce sens, que les tests d'agilité hors glace ont été retirés de la batterie de tests de la LNH. Quelques chercheurs ont ainsi développé des protocoles sur glace (Greer et al., 1992; Larivière et Godbout, 1976; Nightingale, 2013).

Greer et al. (1992) ont évalué vingt-huit joueurs de niveau Bantam et ont obtenu une fiabilité élevée test-retest ($r=0,96$). Le test consistait simplement à patiner en suivant un parcours en forme de « S » autour des deux cercles de la zone défensive. Or, l'application de ce seul test n'a pas pu discerner l'ensemble des paramètres définissant l'agilité. Nightingale (2013) a, par conséquent, tenté de reproduire le test « Pro agility test » sur glace avec 24 joueurs adultes. La reproductibilité mesurée par une procédure test-retest pour cette épreuve indiquait un coefficient de corrélation de 0,82, ce qui est considéré comme étant excellent. Cependant, Delisle-Houde et al. (2019) remettent en cause la validité de cette épreuve. En effet lors que le Pro agility test est administré sur glace et hors glace, ces auteurs rapportent une corrélation de 0,47 entre les deux tests, ce qui représente une variance commune d'à peine 22%, indiquant ainsi une validité douteuse pour cette épreuve. Le test de Larivière et Godbout (1976) est, quant à lui, tout à fait représentatif de l'agilité de patinage. Celui-ci permet notamment de différencier les joueurs en fonction de leurs habilités de patinage, mais aussi leurs habiletés à manipuler la rondelle. En effet, il est possible de réaliser l'épreuve avec ou sans rondelle. De plus, les auteurs ont établi des normes allant de Novices à Junior en évaluant plus de 900 joueurs au Québec, dont les normes ont été actualisées en 1991 par le même auteur. La fiabilité test-retest était élevée ($r=0,96$) et plusieurs composantes de l'agilité y sont représentées (accélération, freinage, virage brusque, slalom, maniement de rondelle).

Allisse et al. (2019) ont précisé toutefois que, dans la version originale de Larivière et Godbout (1976), les performances d'agilité ont été évaluées en prenant en considération uniquement le temps d'exécution des épreuves. En effet, les auteurs ont démontré que la relation entre le temps d'exécution et le $\dot{V}O_2$, expliquaient moins de 20% de la variance commune (r^2). Ainsi, ces résultats suggèrent que le temps d'exécution à lui seul ne fournissait pas assez d'informations pour interpréter adéquatement les besoins d'absorption en oxygène pour ce type d'effort. De plus, ils

ont constaté que l'efficacité de patinage, associée au temps d'exécution, expliquait un plus fort pourcentage de la variance commune avec des valeurs de 50,4% et de 62,9% respectivement pour le test de patinage sans rondelle et avec rondelle. Ceci permet d'apporter aux entraîneurs des informations essentielles à la prescription d'exercice pour le joueur de hockey. Düking et al. (2016) ont rappelé, toutefois, qu'il est primordial de familiariser les joueurs avec un protocole d'agilité afin d'optimiser la qualité des valeurs mesurées.

1.5 Orientation de l'étude

Le hockey sur glace est un sport exigeant physiquement et dont les qualités de patinage sont, sans équivoque, importante à maîtriser pour réussir dans cette discipline (Allisse et al., 2018; Montgomery, 1988; Pearsall et al., 2000). Pourtant, Allisse et al. (2017) ont démontré que de nombreux joueurs consacrent une grande partie de leur saison morte à essayer d'améliorer leur condition physique, par des entraînements hors glace, mais que les gains obtenus par ces entraînements ne se transfèrent pas avec les compétences de patinage sur glace. Cela nous amène donc à reconsidérer les entraînements, ainsi les évaluations, de la condition physique en prenant en compte l'importance de l'efficacité de patinage. Peterson et al. (2015) et Franch et al. (1998) ont démontré, en ce sens, qu'un patineur plus économique peut avoir un avantage concurrentiel sur les autres joueurs lors d'efforts répétés en raison de sa résistance accrue à la fatigue et de ses besoins ventilatoires réduits.

CHAPITRE II

MÉTHODOLOGIE

2.1 Les participants

2.1.1 Caractéristiques

Les projets de recherche qui constituent cette thèse de doctorat, comptabilisent quatre-vingt-huit (88) hockeyeurs de niveau élite (CC, BB, AA, AAA), inscrits dans les catégories Pee-Wee (11-12 ans), Bantam (13-14 ans) et/ou Midget (15-17 ans). Ces groupes d'âge ($14,7 \pm 3,6$ ans) ont été choisis dans le but d'analyser la progression des différentes qualités physiques du jeune joueur de hockey, correspondant à une période particulièrement propice du développement athlétique (Balyi et Hamilton, 2010; Robertson et Way, 2005; Twist, 2013).

Dans la première étude, les participants ($n=18$) étaient à leur première année de leur catégorie d'âge (Bantam BB ou AA: âgés de $13,1 \pm 0,6$ ans). Tous les joueurs ont été évalués 3 fois, soit au début (septembre) et à la fin de la saison #1 (mars), puis au début de la saison #2, ce qui a permis de couvrir deux débuts de saisons consécutives. Les variables anthropométriques mesurées étaient composées de la masse corporelle, de la taille, de l'indice de masse corporelle, du pourcentage de graisse (Allen et al., 1956), des diamètres osseux du coude et du genou ainsi que des circonférences musculaires du biceps et du mollet (Lohman et al., 1988) et finalement du somatotype (Carter, 1980). Les variables de performance hors glace mesurées étaient constituées de trois tests d'endurance musculaire à rythme imposé (pompes, redressements assis et sauts de

lapin) tels que suggérés par Leone et Léger (1985) ainsi qu'une mesure directe du $\dot{V}O_2$ max sur tapis roulant. Les tests sur glace étaient constitués de 5 épreuves de patinage (vitesse de patinage avant, vitesse de patinage arrière, agilité avec rondelle, agilité sans rondelle et puissance de patinage) telles que proposées par Larivière et al. (1991). Les joueurs sont venus de différentes équipes de hockey élite (Bantam) et ont tous suivis en moyenne 15 heures d'entraînements (hors et sur glace) / semaine pendant au moins neuf mois / année.

Les constats de cette première étude ont consenti un raffinement de la finalité du projet dans sa globalité. Alors que le premier article a permis notamment de présenter les résultats des tests sur glace dans leur unité originale (temps en seconde), l'utilisation de technologies modernes mieux adaptées aux situations de terrain fait en sorte de mieux rattacher à ces tests une composante métabolique qui améliore la compréhension des exigences physiologiques de ce sport tout en fournissant aux entraîneurs et aux scientifiques des outils de terrain mieux adaptés.

Les variables hors-glace ont été abandonnées dans le but d'affiner les mesures sur glace, en y ajoutant des données de l'analyseur métabolique et de l'analyseur de lactate sanguin couplées à une analyse vidéo. Trois projets en ont découlé. Les participants ($n=26$; âgés de $15,8 \pm 1,3$ ans) du projet #2 ont réalisé un test d'endurance cardiovasculaire sur glace connu (Leone et al., 2007) qui a été d'abord actualisé puis amélioré afin d'y incorporer un indice d'économie de patinage. Le troisième projet portant sur des épreuves anaérobies alactiques et/ou lactiques (sprint en patinage avant, sprint en patinage arrière, circuit d'agilité) a comptabilisé 24 participants (âge ; $13,2 \pm 1,4$ an). Le dernier projet intégrant des mesures de lactate sanguin (test de $12 \times 18m$) ainsi que le coût en oxygène, a recensé 20 participants (âgés de $15,7 \pm 1$ an). Ci-dessous, le nombre de participants par projet :

Tableau 2.1 : Effectif par projet

	Projet #1	Projet #2	Projet #3	Projet #4
Effectif (n)	18	26	24	20

2.1.2 Éthique

Une demande au Comité d'éthique de l'Université du Québec à Chicoutimi a été déposée pour les projets de recherche composant cette thèse de doctorat et prévoyait notamment l'information et le consentement éclairé des participants et de leurs parents, le cas échéant (voir Annexe A). Elle atteste que les différentes évaluations proposées (et utilisées depuis de nombreuses années chez des joueurs de ce groupe d'âge) ne comportent aucun risque particulier pour des enfants de 11 ans et plus. Son approbation a été délivrée le 26 juin 2013 (no: 602.391.01) par le comité d'éthique institutionnel de l'Université du Québec à Chicoutimi (voir Annexe B).

2.1.3 Recrutement, directives et organisations

Initialement, les démarches ont été entreprises auprès des responsables des clubs de la région de Saguenay (Canada) et de Dunkerque (France) afin de connaître leur volonté de participer à un projet de recherche. L'approche s'est poursuivie auprès des entraîneurs respectifs ayant accepté de participer à cette étude. Le déroulement, l'aboutissement et l'organisation nécessaire pour réaliser les différentes évaluations leur ont été présentés. Selon les structures sportives et les disponibilités des dirigeants d'équipes, plusieurs heures de glace en privé ont dû être louées afin de faciliter l'application de ce projet de recherche. Les évaluations ont été regroupées en trois sous-groupes (groupe # 1 : test aérobie ; groupe #2 : test de sprint et d'agilité ; groupe #3 : test de capacité lactique). Un formulaire d'information (voir Annexe C) a été par la suite remis aux participants (à l'intention des parents et de l'adolescent) et aux

entraîneurs. La rencontre pré-évaluation a finalement permis de répondre aux interrogations et de récupérer le consentement écrit de chacun.

2.1.4 Les aboutissements pour le participant

Hormis la fierté de participer à un projet de recherche ciblant le développement de cette discipline sportive, les participants ont bénéficié d'une connaissance précise de leurs qualités physiques sur glace à l'aide d'une technologie de précision, et ce, gratuitement. Certains risques sont associés à la participation de ce projet, mais ils s'avèrent minimes (possibilité de courbatures et d'élongation musculaire lors des tests). Cependant, ils présentent une incidence qui ne dépasse pas la pratique habituelle du hockey. De plus, les évaluations ont été supervisées par le responsable de l'étude qui a été assisté à l'occasion d'un kinésologue (ou stagiaires) qualifié afin de minimiser ces risques.

2.1.5 Critères d'inclusion et d'exclusion

Les critères d'inclusion et d'exclusion retenus sont les suivants :

Inclusion :

- Être âgé d'au moins 11 ans et de maximum 17 ans lors de la saison sportive 2012-2013 et 2013-2014 (mois d'août à juin) ;
- Faire partie d'une équipe Pee-Wee, Bantam ou Midget CC, BB, AA ou AAA (Canada) ou l'équivalent pour les joueurs français.

Exclusion :

- Infection aiguë évolutive datant au moins d'une semaine ;
- Contre-indication médicale à pratiquer des activités physiques ;
- Prise de médicaments pour des pathologies chroniques graves (cancer, maladies pulmonaires et/ou cardiaques, etc.) ;

- Participation à une autre étude affectant les résultats de celle-ci.

2.2 Les outils de mesure

2.2.1 Analyseur métabolique

2.2.1.1 *Analyseur métabolique fixe : Sensormedics model 2900*

Un analyseur métabolique de type « Sensormedics model 2900 » a été utilisé dans la phase initiale de notre projet (projet # 1). Cet appareil fût l'un des premiers analyseurs métaboliques validé par Unnithan et al. (1994) permettant d'effectuer des épreuves d'efforts directes chez l'enfant.

Ce modèle a été choisi dans le but de limiter entre autres la logistique associée à une évaluation sur glace. En effet, celle-ci était en mesure d'altérer aux préparatifs tactiques et techniques d'une équipe sportive, du fait que les heures d'entraînement ne pouvaient être dissociées des heures consacrées aux évaluations sur glace.

2.2.1.2 *Analyseur métabolique portable : K4_b²*

Les premières observations soulignent l'importance de la notion de spécificité dans l'évaluation et l'application des méthodes d'entraînements du jeune joueur de hockey sur glace. Cependant, à notre connaissance, la plupart des tests de terrain existants sur glace sont avant tout empiriques. L'étude de plusieurs épreuves sur glace à l'aide de cet outil de mesure (K4_b²) s'avère par conséquent très pertinente dans l'objectif d'établir une relation entre la dépense énergétique et l'efficacité mécanique de patinage. Cet outil de mesure novateur et portatif a été validé par McLaughlin et al. (2001). Celui-ci apportera de plus une précision de mesure supérieure comparativement à l'analyse par rétroextrapolation suggérée à l'époque par Léger et al. (1980).

2.2.1.3 Procédure de calibration de l'analyseur : Cosmed K4_b²

La calibration de l'appareil a été opérée pour chaque participant sur le lieu d'évaluation : la patinoire. Chaque calibration a dû être précédée d'une mise en température (45 minutes) en raison de la thermosensibilité des analyseurs d'O₂ et de CO₂. L'appareil a été étalonné en utilisant une bonbonne contenant des concentrations de gaz spécifiques (16% O₂ et 5% CO₂) et une pression de 5 bars. Le débit a été ajusté à l'aide d'une seringue de 3 litres et le délai a été contrôlé dans le but de calculer le temps de transfert de l'échantillon de gaz expiré entre la pipe d'échantillonnage et les analyseurs. Pour terminer, la calibration de l'air ambiant (20,93% pour l'O₂ et 0,03% pour le CO₂), a été lancée automatiquement à chaque début de test.

De manière à optimiser l'étanchéité du masque, quatre grandeurs étaient en notre possession (très petit, petit, moyen et grand), et testées directement sur le participant à l'aide d'un bouchon en caoutchouc, servant à évaluer efficacement les éventuelles pertes de données. L'appareil fût ensuite installé à l'aide d'un harnais (pesant 1,5kg au total) au-dessus de l'équipement complet du joueur de hockey.

Tous les instruments ont été nettoyés à l'aide d'une solution recommandée par Cosmed : « Confidence Plus » de marque Mines Safety Appliances Company.

2.2.2 Analyseur de lactate

2.2.2.1 Lactate pro

Pour cette mesure, l'analyseur de lactate portable de type « Lactate Pro – LT – 1710 », validé par Pyne et al. (2000) a été utilisé avec des bandelettes compatibles « lactate Pro », ainsi que des auto-piqueurs individuels (Accu-Chek Safe-T-Pro Plus), des tampons alcoolisés (Paramedic), des compresses stériles (Formedica), des gants médicaux (AMD Ritmed), des pansements stériles (Equate) et une boîte hermétique de déchets médicaux (Fisherbrand, 2 gallons Infectious Waste Container, lot # : 00163140, cat.

No. 22037959). Une calibration de l'appareil était effectuée avant chaque séance d'évaluation à l'aide de bandelettes spécialement conçues par le manufacturier (bandelette F-5).

2.2.2.2 Procédure d'utilisation de l'analyseur de lactate

Immédiatement après notre test « lactique » (12x60 pieds), le participant s'est laissé glisser vers le banc des joueurs (sans effort supplémentaire) pour y s'asseoir et subir les prélèvements sanguins à 1, 3, 5, 10 et 15 minutes (essentiel à la production d'une cinétique de lactate post-effort). Pour chacun de ces prélèvements, la procédure à respecter était la suivante :

- Calibration de l'analyseur avec la bandelette fournie (F-5) ;
- Mise en place des gants de protection ;
- Désinfection du doigt avec un tampon alcoolisé ;
- Insertion d'une bandelette intacte (sans y toucher avec les doigts) dans l'appareil ;
- Application d'une pression sur le doigt permettant de concentrer une quantité plus importante sur la zone de prélèvement ;
- Utilisation de l'auto-piqueur individuel (possibilité de 1,3 mm, 1,8 mm et 2,3 mm selon le type de peau) ;
- Application d'une pression sur le site environnant pour obtenir une goutte de sang ;
- Essuyer la première goutte de sang avec une compresse stérile afin de réduire l'erreur de mesure liée à la présence d'alcool ;
- Appliquer une pression sur le site environnant pour obtenir une nouvelle goutte de sang (quantité de 5 μ L) ;
- Application de la goutte de sang sur la bandelette ;
- Attendre 60 secondes pour l'analyse ;
- Jeter tous les objets ayant été en contact avec le sang dans une boîte hermétique ;

- Application d'un pansement pour conclure l'ensemble des prélèvements.

Toutes les valeurs obtenues ont été annotées sur une feuille de résultats.

2.2.3 Analyse vidéo et cellules photoélectriques

Une caméra (Gopro Hero 3, San Mateo, États-Unis) permettant l'enregistrement vidéo en haute définition (120 images par seconde) et le logiciel « Kinovea » (version 0.8.15) ont été utilisés pour la lecture des évaluations en mode image par image. Cette fonctionnalité a été très utile pour réaliser le décompte des coups de patin, mais également pour confirmer les résultats obtenus de chacune des évaluations. Ce type de caméra permet également d'enregistrer une séquence en mode « grand angle » et ainsi visualiser la scène d'un seul point de vue. La standardisation de l'enregistrement vidéo fût donc possible avec ce type d'équipement. Les cellules photoélectriques (système de chronométrage Brower, modèle CM15 MEM, Utah, États-Unis) ont également été combinées aux équipements précédents, compte tenu de la brièveté de chacune des épreuves anaérobies et de l'impact que pourrait avoir le manque de précision des résultats sur les variables statistiques. Le temps a été enregistré à 0,01s près.

2.2.4 Mesure de la fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque (FC) a été mesurée par télémétrie à l'aide de la ceinture de fréquence cardiaque T-31 400 Polar (Polar, Kempele, Finlande). Tous les joueurs portaient la même ceinture polar pour chaque test sur glace. La FC a été mesurée en continu jusqu'à ce qu'elle atteigne sa valeur maximale.

2.3 Les différents protocoles d'évaluation anthropométriques

Les caractéristiques anthropométriques des joueurs telles que la taille, la masse corporelle et la composition corporelle, y compris l'indice de masse corporelle (IMC)

ont été mesurées à l'aide d'instruments standardisés (présentés ci-dessous). Le pourcentage de graisse corporelle a été estimé à partir de la somme de dix plis adipeux sous-cutanés sur les sites suivants: triceps, mollet, abdominal, supra-iliaque, sous-scapulaire, axillaire, pectoral, supra-patellaire, joues et menton (Allen et al., 1956). Le type morphologique de l'individu est toujours présenté en fonction de la prédominance des composantes somatotypiques. Selon la terminologie utilisée par Carter (1980), il existe 3 composantes ou indices différents qui sont toujours présentés selon la séquence suivante : endomorphie (Endo), mésomorphie (Meso) et ectomorphie (Ecto). Pour déterminer le type morphologique de l'enfant, les diamètres osseux (coudes et genoux) et les circonférences (biceps et mollets contractés) ont été nécessaires. Toutes les mesures anthropométriques ont été réalisées en utilisant des techniques normalisées (Lohman et al., 1988).

2.3.1 La taille (BH)

À l'aide d'un stadiomètre portable (Seca 214, Lafayette), l'adolescent a été mesuré debout (sans souliers), le dos et la tête bien centrés directement sur l'appareil. Une fois le participant bien en place, une inspiration maximale lui a été demandé tout en étirant le cou vers le haut. La tête devait être droite et le menton dressé, pointant vers l'avant et parallèle au sol. Alors qu'il retenait sa respiration, le curseur a été appliqué sur le sommet de la tête (vertex). Une fois le curseur bien en place, le participant a pu se retirer pour une lecture de la grandeur directement sous la base du curseur. La précision désirée était de 0,1cm (Lohman et al., 1988).

2.3.2 La masse corporelle (MC)

2.3.2.1 Balance fixe

Dans la première partie de l'étude, la MC a été mesuré en laboratoire à l'aide d'une balance médicale (Detecto Eye-Level Beam Scale Pounds & Kilograms, modèle SKU DET339) dont la précision est de 0,1kg. L'adolescent se tient debout bien droit en

regardant devant lui. Les pieds sont légèrement écartés de manière à ce que la masse corporelle soit distribuée également (Lohman et al., 1988).

2.3.2.2 Balance portable

Pour les autres études, une balance bio-impédance (modèle professionnel TANITA 300 A Pro Body Composition Analyzer) a été utilisée pour laisser place à des évaluations en dehors du laboratoire. Ce type de balance a également permis de mesurer un pourcentage de masse grasse en se basant sur la conduction d'un courant alternatif de faible intensité de pied à pied (Mooney et al., 2011).

2.3.2.3 Procédure d'évaluation

Afin d'avoir un certain contrôle sur le taux de masse hydrique, chaque évaluation a été réalisée à la même heure (en soirée) en dehors des entraînements et les participants ont dû respecter les consignes suivantes :

- Ne pas manger et/ou d'ingérer une boisson 3 heures avant le test ;
- Ne pas boire de café et/ou d'alcool 12 heures avant le test ;
- Ne pas faire d'exercices physiques excessifs 24 heures avant le test ;
- Vider sa vessie 30 minutes avant le test.

Concernant la procédure d'utilisation, l'appareil a été dans un premier temps installé sur une surface horizontale, stable et en l'absence de vibration aux alentours. Avant et après chaque pesée, les électrodes ont été assainies avec une lingette conçue pour le nettoyage et la désinfection des dispositifs médicaux non immergeables (Lingettes Wip Anios avec opercule). Le participant a ensuite nettoyé (linge humide individuel), puis séché ses pieds (serviette individuelle) avant l'évaluation.

La procédure d'évaluation, consiste à insérer un millilitre d'eau au centre de chacune des électrodes de l'appareil pour assurer une conductivité. Il est préconisé de retirer systématiquement 0,2kg lors de la calibration (représentatif du poids des vêtements). Les participants ont été catégorisés dans la section « homme – athlétique ». Une fois la calibration de l'appareil réalisée, le participant a pu se présenter pied nu sur la balance (au-dessus des électrodes antérieures et postérieures), immobile et les bras le long du corps jusqu'à l'impression du rapport d'évaluation de l'appareil.

À noter que ce type de balance a obtenu la certification ISO 900 et offre une précision de 0,1% (Haroun et al., 2010; Tanita, 2013).

2.3.3 Les plis adipeux sous-cutanés

2.3.3.1 Localisation des plis

Chaque site anatomique a été mesuré (à l'aide d'un ruban anthropométrique de type « Gulick ») et identifié (à l'aide un stylo à tableau blanc) pour l'application de mesures répétées :

- **Pour le pli du triceps** : inscrire une marque à la moitié du segment acromion-olécrane en demandant au participant de plier le coude pour faciliter l'identification des structures osseuses. Une fois la mesure accomplie, le participant a dû allonger le bras verticalement le long du corps sans aucune contraction musculaire. L'orientation du pli a été prise verticalement.



Figure 2.1 : Localisation du pli adipeux : triceps.

- **Pour le pli du mollet** : inscrire une marque au centre de la partie la plus charnue du mollet (identifiée à l'aide d'un ruban à mesurer de type « Gulick »). Par la suite, le participant devait placer le pied droit sur une chaise en amenant entièrement son poids sur la jambe au sol (gauche), afin d'éviter toute contraction musculaire pendant l'application de l'adiposimètre. L'orientation du pli a été prise verticalement.



Figure 2.2 : Localisation du pli adipeux : mollet.

- **Pour le pli abdominal** : inscrire une marque à 2cm à droite du nombril. Le participant ne devait pas contracter les muscles abdominaux pendant l'application de l'adiposimètre. L'orientation du pli a été prise verticalement.

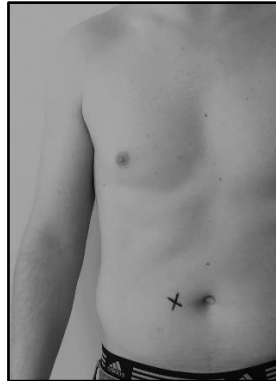


Figure 2.3 : Localisation du pli adipeux : abdomen.

- **Pour le pli supra-iliaque** : inscrire une marque à 2cm au-dessus de la crête iliaque et sur l'axe axillaire. Le participant devait poser la main droite sur l'épaule gauche pour faciliter l'application de l'adiposimètre. L'orientation du pli a été prise dans le sens naturel du pli (angulé).



Figure 2.4 : Localisation du pli adipeux : supra-iliaque.

- **Pour le pli sous-scapulaire** : inscrire une marque à 1 cm au-dessous du bord inférieur de la scapula. Dans certains cas, le participant devait mettre la main

droite dans le dos pour faciliter l'identification de la scapula. Pour la mesure, le bras droit était allongé verticalement le long du corps sans aucune contraction musculaire. L'orientation du pli a été prise dans le sens naturel du pli (angulé).



Figure 2.5 : Localisation du pli adipeux : sous-scapulaire.

- **Pour le pli axillaire :** inscrire une marque sur la 6e côte au croisement d'un axe pli axillaire-crête-iliaque. La main droite était sur l'épaule gauche pour faciliter l'application de l'adiposimètre. L'orientation du pli a été prise dans le sens naturel du pli (angulé).



Figure 2.6 : Localisation du pli adipeux : axillaire.

- **Pour le pli pectoral :** inscrire une marque au centre d'un axe sternum-pli axillaire droit. Une fois la mesure accomplie, le participant devait allonger le

bras verticalement le long du corps sans aucune contraction musculaire. L'orientation du pli a été prise verticalement.



Figure 2.7 : Localisation du pli adipeux : pectoral

- **Pour le pli supra patellaire** : inscrire une marque à 2cm au-dessus de la partie supérieure de la patella. Le participant devait ajuster l'intégralité de son poids sur la jambe non-mesurée (gauche) et ainsi favoriser le relâchement musculaire de la jambe droite. L'orientation du pli a été prise verticalement.



Figure 2.8 : Localisation du pli adipeux : supra patellaire

- **Pour le pli de la joue** : inscrire une marque sur la joue au croisement d'un axe vertical partant du coin de l'œil et un axe horizontal partant du coin de la bouche. L'orientation du pli a été prise verticalement.



Figure 2.9 : Localisation du pli adipeux : joue

- **Pour le pli du menton** : inscrire une marque au centre d'un axe partant du menton à la trachée. L'orientation du pli a été prise verticalement.



Figure 2.10 : Localisation du pli adipeux : menton

2.3.3.2 Procédure d'évaluation

Concernant les aspects techniques d'une mesure de pli adipeux, l'évaluateur a saisi (entre le pouce et l'index de sa main gauche) le pli adipeux pour ensuite l'aplanir entre

ses doigts de manière à bien répartir la graisse sous-cutanée (technique du « roulé »). Une attention particulière a été portée au fait que la mesure comprend uniquement l'épaisseur de la peau et de la graisse sous-jacente, sans le muscle. Une fois le pli formé, l'évaluateur a apposé les mâchoires de l'adiposimètre à environ 1cm sous le sillon que forme la pression des doigts sur la peau. Le cadran de lecture a été orienté de manière à faire face directement au champ de vision de l'évaluateur. Une fois les mâchoires refermées sur le pli, il a fallu relâcher complètement la détente de l'adipomètre tout en maintenant entre les doigts de la main gauche le pli adipeux. Tous les plis adipeux désirés ont été ainsi mesurés l'un après l'autre avec une précision de 0,1mm et notés une première fois. Cette même manipulation fût réalisée une seconde fois pour s'assurer de la conformité des mesures annotées. Si la différence entre les deux mesures successives d'un même site anatomique était supérieure à 10%, une troisième mesure devait être effectuée. Pour finir, notre résultat a consisté en une moyenne des deux mesures les plus semblables.

Il est à noter que toutes ces évaluations ont été réalisées à l'aide d'un adiposimètre de type Harpenden, validé en 1955 par Tanner et Whitehouse et que cet appareil est largement utilisé à ce jour en recherche (Heyward et Wagner, 2004).

2.3.4 Les circonférences de taille et de hanche

Notre objectif, à travers l'évaluation des circonférences taille/hanche, était de mener un suivi des paramètres de santé chez de jeunes athlètes. Le protocole de chacune de ces mesures est décrit ci-dessous :

2.3.4.1 *Circonférence de taille*

Cette mesure se réalise en position debout, abdomen dégagé, les pieds joints et les bras croisés sur la poitrine. L'évaluateur a dû quant à lui se positionner de côté et identifier au préalable (à l'aide d'un stylo à tableau blanc) la partie supérieure de la crête iliaque

droite et gauche. Cette procédure a pour objectif de visualiser les structures osseuses lors de l'application du ruban anthropométrique (Gulick) à l'horizontale. Nos mesures ont été prises à la fin de la troisième expiration normale. La précision inscrite a été de 0,1 cm et la pression exercée par le ruban était de 100g (Lohman et al., 1988).



Figure 2.11 : Localisation de la circonférence de la taille

2.3.4.2 *Circonférence de hanche*

Cette mesure se réalise également en position debout, abdomen dégagé, les pieds joints et les bras croisés sur la poitrine. L'évaluateur a dû quant à lui se positionner de côté et identifier au préalable la partie la plus charnue du fessier (approximativement à hauteur du grand trochanter) pour l'application horizontale du ruban anthropométrique (Gulick). La précision inscrite a été de 0,1cm et la pression exercée par le ruban était de 100 g (Lohman et al., 1988).



Figure 2.12 : Localisation de la circonférence de la hanche

2.3.5 Mesures somatotypiques

La méthode de Heath-Carter, technique reprise par Geithner et al. (2006), a été utilisée pour déterminer le profil morphologique de jeunes joueurs de hockey de haut niveau (13-14 ans). Cette technique informe sur la configuration morphologique externe au regard de la composition corporelle. Afin d'être en mesure de l'interpréter, quatre mesures supplémentaires, présentées ci-dessous, ont dû être réalisées (Carter, 1980).

2.3.5.1 *Diamètre du coude*

Pour cette mesure, le participant devait lever le bras à l'horizontal en réalisant une flexion de coude de 90 degrés. L'évaluateur a dû localiser, avec les doigts, les deux épicondyles médial et latéral de l'humérus et d'y juxtaposer les deux branches de l'anthropomètre (Lafayette anthropometric caliper) en exerçant une légère pression. La valeur la plus élevée des deux coudes a été retenue avec une précision de 0,1cm (Carter, 1980).

2.3.5.2 *Diamètre du genou*

Pour cette mesure, le participant devait s'asseoir (genoux à 90 degrés). L'évaluateur a dû localiser avec ses doigts les deux épicondyles médial et latéral du fémur et d'y

juxtaposer les deux branches de l'anthropomètre (Lafayette anthropometric caliper) en exerçant une légère pression. La valeur la plus élevée des deux genoux a été retenue avec une précision de 0,1cm (Carter, 1980).

2.3.5.3 *Circonférence du biceps*

Le participant était en position debout, poing fermé, coude levé à hauteur d'épaule sur le plan sagittal, et fléchi à plus de 90 degrés. Celui-ci devait réaliser une contraction maximale du biceps dès que l'évaluateur lui en avait donné la consigne. Il a fallu donc enrouler horizontalement le ruban anthropométrique (Gulick) autour du biceps sans pour autant le compresser et repérer l'endroit où le périmètre du biceps (en glissant le ruban) été le plus grand lors de la contraction. La valeur la plus élevée des deux biceps a été retenue avec une précision de 0,1cm (Carter, 1980).

2.3.5.4 *Circonférence du mollet*

Le participant était en position debout, le poids sur la jambe mesurée afin de faciliter l'application d'une contraction maximale du mollet. Celui-ci devait réaliser une contraction maximale du mollet dès que l'évaluateur lui en avait donné la consigne. Il a fallu donc enrouler horizontalement le ruban anthropométrique (Gulick) autour du mollet sans pour autant le compresser et repère l'endroit où le périmètre du mollet (en glissant le ruban) est le plus grand lors de la contraction. La valeur la plus élevée des deux mollets a été retenue avec une précision de 0,1cm (Carter, 1980).

2.4 Les tests physiques hors-glace

Les évaluations hors-glace ont permis d'établir un suivi de l'ensemble des qualités musculaires. La démarche s'inscrit dans le suivi physiologique et anthropométrique du jeune joueur de hockey sur glace dans le but d'y émettre certaines conclusions. Les protocoles d'évaluation proviennent pour la plupart des tests suggérés par la LNH, mais

ont aussi pour but d'être facilement intégrés dans les milieux sportifs. Les protocoles de chacun d'eux sont détaillés ci-dessous.

2.4.1 Les pompes

Initialement couché sur le ventre, les mains orientées vers l'avant et en appui au sol (de chaque côté des épaules) avec une flexion de coude de 90 degrés. Le participant devait soulever son corps en ayant uniquement les mains et les pointes de pieds en contact avec le sol. Dans l'exécution du mouvement, il devait contracter les abdominaux pour conserver une courbure lombaire stable et de ne pas verrouiller les coudes à chaque fin de mouvement. Le but était de réaliser le maximum de flexions et d'extensions de bras selon un rythme imposé (à l'aide d'un métronome Qwik Time QT-3) de 50 répétitions par minute. Deux avertissements consécutifs ont été accordés avant de mettre fin au test. La qualité mesurée par ce test était l'endurance musculaire des membres supérieurs (Leone et al., 2002; Leone et Léger, 1985).

2.4.2 Les redressements assis

Initialement en position couchée sur le dos, les mains placées sur les oreilles, les genoux fléchis à 90 degrés et écartés à la largeur des hanches. Le mouvement demandé au participant était de fléchir le tronc vers l'avant, de toucher avec la paume de ses mains ses genoux et de redescendre en appuyant les scapulas au sol. Lors de l'exécution de chacun des mouvements, les fesses et le milieu du dos étaient à tout moment en contact avec le sol, et les mains devaient continuellement glisser le long des cuisses. Le but était de réaliser le maximum de redressements assis (et ceux sans le maintien des pieds par une tierce personne) en suivant une cadence imposée de 40 répétitions par minute à l'aide d'un métronome Qwik Time QT³. Il est à noter que toutes répétitions mal effectuées n'ont pas été comptabilisées. La qualité mesurée par ce test était l'endurance musculaire de la ceinture abdominale (Leone et al., 2002; Leone et Léger, 1985).

2.4.3 Le saut de lapin

Initialement en position debout, le corps bien droit, les pieds écartés d'environ 10 cm et les bras allongés à la verticale. Le participant devait réaliser le mouvement suivant : (1) fléchir les genoux et déposer les mains au sol (largeur des épaules) en position accroupie ; (2) lancer les deux pieds vers l'arrière pour prendre une position d'appui sur les mains et les orteils, puis subséquentement conserver le corps en extension ; (3) ramener les pieds pour reprendre la position accroupie ; (4) revenir debout en position initiale. À noter que l'ensemble de ce mouvement, s'effectuant en quatre temps, constitue une répétition. Le but était de réaliser le maximum de mouvements en 4 minutes tout en suivant le rythme imposé le plus longtemps possible (25 répétitions par minute à l'aide d'un métronome Qwik Time QT-3). Le test a pris fin lorsque le participant n'était plus capable de suivre le rythme imposé ou qu'il avait réalisé le nombre maximal de répétitions. La qualité mesurée par ce test était l'endurance musculaire des membres inférieurs (Leone et al., 2002; Leone et Léger, 1985).

2.4.4 La force musculaire

La mesure de la tension musculaire maximale pouvant être développée par les muscles de l'avant-bras et de la main a été mesurée à l'aide d'un dynamomètre manuel de type Takei Kiki Kogyo handgrip (modèle TK - 1210). Initialement en position debout, le corps droit et en maintenant le dynamomètre dans la main droite le long du corps (préalablement calibré pour une prise confortable à la deuxième phalange). Le participant devait empoigner l'appareil le plus fortement possible, sans prendre appui avec quelconque partie du corps et sans fléchir le bras pour une durée d'environ 4 à 5s. Il est conseillé au participant d'expirer progressivement pendant l'application de la force maximale. La mesure s'effectue alternativement avec la main gauche et la main droite. Deux essais ont été accordés, pour ensuite additionner les meilleurs résultats de chacune des deux mains avec une précision de 0,5kg (Leone et al., 2002).

2.4.5 La puissance musculaire

Initialement en position debout avec le bout des pieds derrière la ligne de départ (largueur confortable). Le participant devait introduire le mouvement en élevant la jambe non-dominante et en fléchissant la jambe d'impulsion afin amorcer et d'effectuer le premier saut en s'aidant de ses bras. Suite à la première impulsion, le participant devait se réceptionner sur la même jambe pour engager un second saut, puis atterrir sur l'autre pied pour le troisième saut. Il est à noter que la réception du dernier saut devait s'effectuer sur les deux pieds et que le participant devait rester immobile afin que l'évaluateur puisse prendre la mesure de la longueur du saut. Le résultat consistait à mesurer la distance maximale entre la ligne de départ et le talon du participant le plus près de la ligne de départ, parmi les trois essais accordés avec une précision de 1,0 cm. La qualité mesurée par ce test était la puissance musculaire des membres inférieurs (Reiman et Manske, 2009).

2.4.6 La flexibilité du tronc (FT)

Initialement en position assise au sol, les pieds placés sous l'appareil (sans souliers) écartés de 15cm et les jambes tendues (avec légère flexion des genoux). Le participant devait réaliser une flexion du tronc sans fléchir les genoux et sans saccade. Celui-ci devait glisser les deux mains parallèles le plus loin possible sur la règle tout en expirant progressivement durant le mouvement. Une fois le maximum atteint, la position devait être maintenue 3s. Le meilleur résultat des trois essais a été retenue avec une précision de 0,5cm. Ce type d'épreuve a été systématiquement réalisée après l'évaluation aérobie, afin d'obtenir un échauffement suffisant nécessaire à l'optimisation des résultats. La qualité mesurée par ce test était l'amplitude articulaire du tronc (Leone et al., 2002).

2.4.7 La flexibilité des épaules (FE)

Initialement en position allongée au sol sur le ventre, les bras étendus vers l'avant (comme pour un plongeur) tenant un bâton (largeur d'épaules) et le front en contact

avec le sol. Le participant devait maintenir la position initiale et lever uniquement le bâton le plus haut possible sans fléchir les bras et en gardant les poignets dans l'axe des bras. Une fois le maximum atteint, la position devait être maintenue 3s. L'évaluateur était placé devant le participant afin de mesurer la distance entre le sol et le dessous du bâton (à l'aide d'une règle de type Mastercraft – numéro : 57-7008-8). Le meilleur résultat des trois essais a été retenue avec une précision de 0,5cm. La qualité mesurée par ce test était l'amplitude articulaire de l'épaule par un mouvement de flexion (Leone et al., 2002).

2.4.8 Test d'endurance cardiovasculaire sur tapis roulant (MAP)

Le protocole de ce test a débuté par un échauffement de 4 minutes à 0% de pente ainsi qu'une vitesse de 10km·h⁻¹. L'incrémentation pendant l'épreuve a été de 2,5% toutes les deux minutes et 30s. L'évaluation se terminait lorsque le participant n'était plus en mesure de suivre le rythme imposé. La qualité mesurée par ce test a été la consommation maximale d'oxygène exprimée en ml·kg·min⁻¹ (Leone et al., 2002).

2.5 Les tests physiques sur glace

Tous les tests sur glace (6) ont été filmés à l'aide d'une caméra (Gopro Hero 3), et chaque participant portait un analyseur métabolique portable (Cosmed K4b²), un cardiofréquencemètre Polar en plus de son équipement de hockey complet, permettant d'analyser la dépense énergétique ainsi que les variables pouvant l'influencer (par exemple les coups de patin). Dans l'objectif de synchroniser ces appareils, une marque a été établit dans l'enregistrement des données de l'analyseur métabolique conjointement avec un signal visuel et sonore sur l'enregistrement vidéo.

2.5.1 Test de sprint en patinage avant

Le participant s'est placé initialement avec les patins derrière la ligne de départ et face à celle-ci. Suite au marqueur identifié sur l'analyseur métabolique et au signal visuel et sonore synchronisé avec la caméra, le participant a amorcé son sprint conformément au compte à rebours de 10s préétabli. L'objectif étant de franchir le plus rapidement possible la distance de 100 pieds (30,5m) en ligne droite. Les cellules photoélectriques et la caméra ont permis d'examiner les différentes phases du sprint (10m, 20m et 30,5m) ainsi que le nombre de coups de patin nécessaire pour réaliser le parcours. Afin de s'assurer que le participant ne ralentit pas à la fin du test, une distance minimale de 10m a été établit à la fin de l'épreuve. Le résultat du test a été enregistré avec une précision de 0,001s. La qualité mesurée par ce test était la puissance anaérobie alactique (Larivière et Godbout, 1976; Larivière et al., 1991).

2.5.2 Test de sprint en patinage arrière

Le protocole de l'épreuve suivante a été réalisé comme pour le sprint en patinage avant, hormis que le départ a dû être amorcé dos à la ligne de départ et bien entendu que le sprint s'est effectué en patinage arrière tout le long du test (Larivière et Godbout, 1976; Larivière et al., 1991).

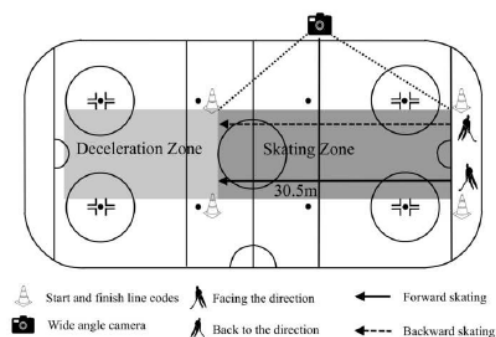


Figure 2.13 : Illustration du test d'évaluation en patinage avant et arrière sur glace adaptée de Larivière et al., (1991)

2.5.3 Test de slalom avec et sans rondelle

Ces deux tests mesurent la capacité du joueur à patiner et à faire des arrêts et des départs, des changements de direction et des virages serrés aussi rapidement que possible, avec ou sans rondelle. L'exécution de ce type d'épreuve a tout d'abord été démontrée au joueur afin d'en faciliter la compréhension. Ensuite, le participant s'est placé avec les patins derrière la ligne de départ et face à celle-ci. Il est à noter que la rondelle et le bâton du participant se trouvaient également derrière la ligne pour le départ. Un marqueur a été ensuite identifié sur l'analyseur métabolique en synchronisation avec un signal visuel et sonore transmis à la caméra. Le participant a ensuite amorcé son parcours conformément au compte à rebours de 10s préétabli. Le parcours d'agilité avec et sans rondelle consiste à patiner jusqu'à l'extrémité du parcours pour y effectuer un freinage brusque (face au cône se trouvant à l'intérieur du parcours), afin de revenir immédiatement sur ses pas et réaliser un virage brusque autour du premier cône. Le participant poursuit son parcours, sans arrêt, par des mouvements de zig-zig entre les cônes, et ce, sur un trajet aller-retour. Il complète son slalom en effectuant un autre virage brusque pour immédiatement accélérer en ligne droite jusqu'à l'extrémité du tracé où il freine brusquement, face au cône intérieur, et finalement revenir en ligne droite pour franchir la ligne d'arrivée (distance totale de 110,0m (6 x 18,3m). Afin de s'assurer que le participant ne ralentisse pas à la fin de test, une distance minimale de 10m été prévue après la ligne d'arrivée. Le résultat du test a été enregistré avec une précision de 0,01s. Ce test avait pour but de déterminer le temps requis pour couvrir un parcours d'agilité préétabli, tout en manipulant ou non une rondelle (Larivière et Godbout, 1976; Larivière et al., 1991).

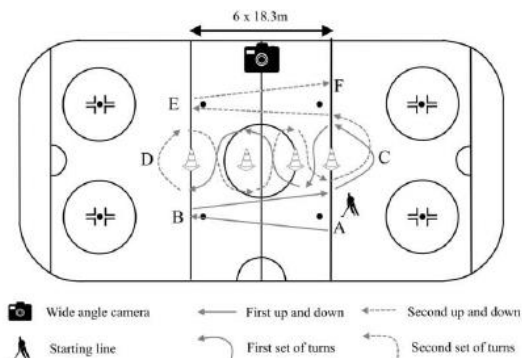


Figure 2.14 : Illustration du test de slalom avec et sans rondelle sur glace adaptée de Larivière et al., (1991)

2.5.4 Procédure d'analyse bioénergétique : tests anaérobiques

En raison de la nature de l'effort requis (métabolisme principalement anaérobie), la consommation d'oxygène a été enregistrée durant toute la durée du test et alors que le joueur était immobile à la fin de l'épreuve. La création d'un déficit en oxygène au début de l'effort combiné au remboursement de la dette d' O_2 à la fin du test justifient de poursuivre la collecte de données même si l'épreuve est terminée (Flandrois et Lacour, 1977). À cet égard, nos tests préliminaires en patinage avant et arrière ont montré que les valeurs pics de consommation d'oxygène étaient généralement atteintes vers la 30e seconde après la fin de l'exercice. Pour le test d'agilité de patinage avec et sans rondelle, dont la durée est plus longue, on retrouve les mêmes valeurs autour de la 10e seconde.

2.5.5 Indice d'efficacité du patinage (IEP) : tests anaérobiques

Afin de créer un indice d'efficacité de patinage convivial, le nombre de foulées a été divisé par la vitesse de patinage pour chacun des 4 tests ($\# \text{ foulées} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$). Une approche similaire a déjà été proposée avec succès en natation (Lavoie et al., 1985) et plus récemment en hockey sur glace lors d'une procédure aérobie à paliers multiples

(Allisse et al., 2018) et semble être un moyen efficace d'obtenir un indicateur global de l'efficacité mécanique.

2.5.6 Test de sprint de longue durée : 12x18m

Le participant s'est placé initialement avec les patins derrière la ligne de départ et face à celle-ci. Suite au marqueur identifié sur l'analyseur métabolique ainsi qu'au signal visuel et sonore synchronisé avec la caméra, le participant a amorcé son sprint conformément au compte à rebours de 10s préétabli. Le parcours consistait à réaliser une distance de 18,3m le plus rapidement possible à 12 reprises sur un trajet aller-retour. Une attention particulière a été portée sur le fait que le participant devait franchir à chaque occasion la ligne de retour ou de départ, dans le but d'assurer une distance totale de 219,5m. Dans le but de s'assurer que le participant ne ralentisse pas à la fin de test, une distance minimale de 10 m été prévues après la ligne d'arrivée. Cette zone a permis notamment au participant de se laisser glisser (sans effort supplémentaire) jusqu'au banc d'évaluation de la lactatémie (protocole décrit plus haut). Le résultat du test a été enregistré avec une précision de 0,01s. La qualité mesurée par ce test était la puissance anaérobie lactique (Larivière et Godbout, 1976; Larivière et al., 1991).

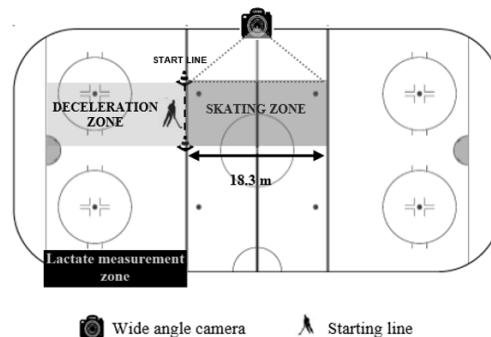


Figure 2.15 : Illustration du test de sprint de longue durée (12x18m) sur glace adaptée de Larivière et al., (1991)

2.5.7 Skating Multistage Aerobic Test (SMAT)

La procédure de test sur glace (SMAT) utilisée, a été proposée pour la première fois par Leone et al. (2007). La qualité mesurée par ce test était la puissance maximale aérobie. Le système métabolique portable a été installé sur le joueur avec son équipement de hockey complet. Après un échauffement sur glace (5 min à $4,1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), le participant s'est placé avec les patins parallèles à la ligne de départ (le côté étant libre de choix). Avant de démarrer l'évaluation, un marqueur a été identifié sur l'enregistrement de l'analyseur métabolique. Le participant a pu ensuite amorcer son départ, en tenant son bâton de hockey à une main, suite à un compte à rebours de 5 s correspondant au départ de la bande sonore du test. Le participant devait ajuster sa vitesse de patinage pour synchroniser son passage au centre de la glace avec le second signal sonore. Sans s'arrêter (et si nécessaire en ajustant sa vitesse de patinage), le participant devait continuer de patiner pour atteindre la fin du parcours (45m) et s'arrêter brusquement en même temps que le troisième signal auditif. Immédiatement après ce freinage, le participant devait patiner dans la direction opposée (stop and go) pour atteindre le point médian dans le temps requis pour le quatrième signal sonore, et ainsi de suite jusqu'à la fin de la séquence d'une minute. La vitesse de patinage initiale a été fixée à $3,5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et les incréments successifs ont été définis sur $0,2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. À la fin du premier palier d'une minute, le participant devait se laisser glisser lentement jusqu'à l'extrémité la plus proche du parcours pour une période de repos de trente secondes avant de commencer le palier suivant. Il est à noter que l'évaluateur a patiné au côté du participant dans la quasi-totalité de l'épreuve afin de s'assurer d'une application exacte du protocole d'évaluation. Le test a pris fin lorsque le sujet n'était plus en mesure de suivre le rythme imposé par le signal sonore. À cet effet, une zone de tolérance de trois m a été balisée autour des cônes permettant de mettre fin au test après deux retards consécutifs (Leone et al., 2007).

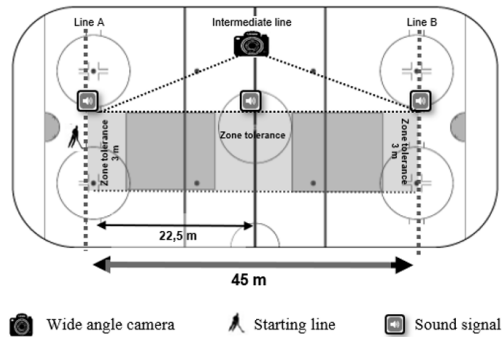


Figure 2.16 : Illustration du test d'endurance cardiovasculaire sur glace adaptée de Leone et al. (2007)

2.5.8 Indice d'efficacité du patinage (IEP) : Test aérobie

Le modèle proposé a été inspiré de l'étude de Lavoie et al. (1985) en natation afin de développer un indice d'efficacité mécanique qui tient compte des particularités techniques propres au patinage. Cette équation consiste à compter le nombre de coups de patin (pour chaque palier), puis de diviser chaque résultat par la masse corporelle du joueur de hockey. L'inclusion de la masse corporelle dans l'équation IEP est justifiée par des études allométriques montrant que l'utilisation d'une unité en $\text{ml}\cdot\text{O}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ a un impact sur les valeurs du $\dot{V}\text{O}_2$ pendant les activités de mise en charge (Léger, 1996). Grâce à des essais préliminaires, il a été constaté que le nombre de foulées effectuées au cours du palier 4 ($4,1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) montre la corrélation la plus élevée avec la dépense énergétique et affiche l'erreur standard de l'estimé la plus faible. Il a donc été déterminé que le nombre de coups de patin devrait être pris en compte seulement lors du palier 4.

2.6 Nos hypothèses

L'élaboration de cette étude était basée dans un premier temps sur des mesures répétées, permettant de suivre l'effet de l'entraînement sur les paramètres physiologiques et morphologiques durant le championnat, mais également en dehors des compétitions.

Suite aux premiers constats, notre recherche s'est orientée vers la modélisation des caractéristiques bioénergétiques des différentes actions rencontrées lors d'un match de hockey (patinage avant, arrière, agilité avec et sans rondelle, test de capacité lactique et test de puissance aérobie). L'objectif étant de rendre les évaluations de la condition physique sur glace plus précises, sans nécessairement employer une technologie dispendieuse.

Ci-dessous les hypothèses par article :

Article 1 : Les paramètres anthropométriques, de la condition physique et de l'habileté de patinage du jeune joueur de hockey progressent par des entraînements hors-glace et sur glace durant une saison complète de hockey, incluant la période estivale (mesures répétées).

Article 2 : L'ajout d'un indicateur d'efficacité mécanique de patinage lors du test aérobie « Skating Maximal Aérobie Test » améliore la précision de la prédiction du $\dot{V}O_2\text{max}$ tout en diminuant l'erreur standard dans l'estimé.

Article 3 : Le coût énergétique en oxygène du jeune joueur de hockey peut être estimé lors des tests anaérobies sur glace à partir de différentes équations de régression.

Article 4 : Préviation du coût en oxygène sur la glace et de la production de lactate lors d'un test anaérobie maximal chez des jeunes joueurs de hockey sur glace.

2.7 Les statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel IBM SPSS Statistics version 24.0. Ci-dessous, les analyses effectuées pour chacun des articles :

2.7.1 Article #1

Les statistiques descriptives (SD) ont présenté les moyennes et les écarts types. Le test de Shapiro-Wilk (pour la normalité des distributions) a été effectué pour toutes les variables. Les comparaisons des moyennes ont été calculées en utilisant le test non paramétrique de Friedman pour les mesures répétées. Les corrélations ont été calculées en utilisant le test de coefficient Spearman. Le niveau de signification a été fixé à $p \leq 0,05$.

2.7.2 Article #2

Toutes les valeurs sont rapportées en tant que moyenne \pm écart type. Les équations de régression ont été calculées en utilisant la procédure de régression linéaire. L'erreur standard de l'estimé et les coefficients de corrélation ont également été calculés. La comparaison des pentes a été effectuée en utilisant un test t apparié ou non apparié, en fonction des variables testées. Les valeurs de $p \leq 0,05$ ont été établies comme significatives.

2.7.3 Article #3

Toutes les valeurs sont rapportées en moyenne \pm écart-type. Le test de Shapiro-Wilk pour les hypothèses de normalité a été compilé pour chaque variable. Les intervalles de confiance ont été fixés à 95%. Les tailles d'effet Cohen d ont été compilées puis interprétées à l'aide de l'échelle suivante: $<0,19$ trivial; 0,20-0,49 petit; 0,50-0,79 moyen; $>0,79$ grand (Cohen, 1992). Les équations de régression multiple ont été calculées à l'aide de la procédure de régression linéaire standard. L'erreur standard

d'estimation et les coefficients de corrélation ont également été calculés. Les coefficients de corrélation de Pearson ont été calculés afin d'évaluer la relation entre les principales variables de performance sur glace. Des comparaisons entre les différentes modalités de test (patinage avant / arrière et agilité avec vs sans rondelle) et les deux groupes d'âge (joueurs plus jeunes ou plus âgés) ont été effectuées. Des analyses t-test non appariées ont également été réalisées. Le calcul de la puissance a été défini pour un β à 0,85 avec un α de 0,05 et une taille d'effet de 0,5 à l'aide du logiciel Gpower version 3.1.9.2. Les valeurs de $p \leq 0,05$ ont été jugées significatives.

2.7.4 Article #4

Toutes les valeurs sont rapportées en moyenne \pm écart-type. Le test de normalité de Shapiro-Wilk a été compilé pour chaque variable. Les intervalles de confiance ont été fixés à 95%. Les équations de régression multiple ont été calculées à l'aide de la procédure de régression linéaire standard. L'erreur standard d'estimation et les coefficients de corrélation ont également été calculés. Les coefficients de corrélation de Pearson ont été calculés afin d'évaluer la relation entre les principales variables de performance sur glace. Le calcul de la puissance a été défini pour un β à 0,85 avec un α de 0,05 et une taille d'effet de 0,5 à l'aide du logiciel Gpower version 3.1.9.2. Les valeurs de $p \leq 0,05$ ont été jugées significatives.

CHAPITRE III

ARTICLE I

3.1 Morphological, physiological and skating performance profiles of male age group elite ice hockey players

Article publié dans la revue scientifique : Journal of Human Kinetics, Aug 1;58:87-97.
doi: 10.1515/hukin-2017-0085.

Maxime Allisse¹, Pierre Sercia², Alain-Steve Comtois², Mario Leone¹

¹Department of Health Sciences, University of Québec in Chicoutimi, Saguenay (QC), Canada.

²Department of Exercise Sciences, University of Québec in Montréal, Montréal (QC), Canada.

Running title: Skating performance of elite ice hockey players

3.1.1 Abstract

The purpose of this study was to describe the evolution of morphological, physiological and skating performance profiles of elite age-group ice hockey players based on repeated measures spread over one season. In addition, the results of fitness tests and training programs performed in off-ice conditions and their relationship with skating performance were analyzed. Eighteen high level age-group ice hockey players (13.1 ± 0.6 years) were assessed off and on-ice at the beginning and at the end of the hockey season. A third evaluation was also conducted at the beginning of the following hockey season. The players were taller, heavier, and showed bone breadths and muscle girths above the reference population of the same age. Muscular variables improved significantly during and between the two hockey seasons ($p < 0.05$). However, maximal aerobic power improved only during the off-season. All skating performance tests exhibited significant enhancements during the hockey season, but not during the off-season where some degradation was observed. Finally, weak observed variances (generally $<20\%$ of the explained variance) between physiological variables measured off-ice and on-ice skating performance tests indicated important gaps, both in the choice of the off-ice assessment tools as well as in training methods conventionally used. The reflection on the best way to assess and train hockey players certainly deserves to be continued.

Keywords: Ice hockey, elite players, skating performance, off-ice assessment, training.

3.1.2 Introduction

The pursuit of sporting excellence is a long and complex process that must take into account several factors. From a physical perspective, high-level performance manifests itself differently according to the sport. Indeed, technical, physiological and morphological characteristics proper to each sport make it necessary to develop assessment tools and training methods that take into account these differences. Thus, to better evaluate sport performance and ultimately prescribe the correct training program, it is essential to get access to reliable and accurate assessment tools.

In some more complex sports such as ice hockey, the challenge is even greater given the many bioenergetic systems that are sought (Cox et al., 1995; Montgomery, 1986, 2006; Nightingale et al., 2013). In fact, ice hockey is a sport that requires high-intensity bouts of intermittent efforts, which implies that players must develop diversified physical capacities. Skating skills, however, remain the most sought quality to achieve success. It is therefore quite legitimate that hockey specialists are trying to optimize training and assessment strategies that enhance, as much as possible, these fundamental competencies inherent to the hockey game. In this regard, several tests and training methods have been proposed with the aim to either assess (Burr et al., 2008; Potteiger et al., 2010; Vescovi et al., 2006) or possibly enhance (Bracko and George, 2001; Ebben et al., 2004; Falinger and Fowles, 2008; Green et al., 2006) skating potential of the players via off-ice interventions. However, the interest created by obtaining the results of such tests is mixed as their value in terms of predicting sporting success is controversial (Burr et al., 2008; Nightingale et al., 2013; Vescovi et al., 2006).

Thus, the aim of this study was threefold: 1. To present physiological, morphological and skating performance profiles of age-group elite ice hockey players; 2. To follow the longitudinal course (repeated measures) of these variables; and 3. To present limitations in the relevance of commonly used off-ice testing and training programs.

3.1.3 Material and Methods

Participants

A total of 18 male youth elite hockey players took part in this study. For reasons of consistency, only forward players were selected for this project. All participants (N = 18) were in their first year in the elite Bantam age-group category (aged 13-14 years old). The players were assessed off and on-ice on three testing sessions. The first assessment was completed at the beginning of the hockey season in September, the second at the end of the hockey season in March and the third at the beginning of the next hockey season (September) that allowed covering two consecutive beginning hockey seasons (September of the first year to September of the second year). All players were recruited into a special sports-study hockey program. The players came from different elite Bantam hockey teams from the Montreal area, but trained (off and on-ice) together for an average of 15 hours/week during at least nine months/year (age 13.1 ± 0.6 year at testing session 1). Prior to the beginning of the study, each participant's parent had signed an informed consent form since it was required from the hockey direction board for the student/player to be authorized to participate in the hockey program. The project was approved by the institutional ethical committee of the Université du Québec à Montréal.

Training program

Between September and March, which represents the hockey season, each player trained on-ice 5 days/week for 2 hours/day and played 2-3 games/week for their respective team. Also, the participants trained off-ice 3 days/week for 90 min/day. The off-ice training consisted essentially of resistance training (3 sets of 8-10 repetitions), aerobics (2 x 10 minutes of high intensity intervals), and plyometrics (2 sets of 8-10 repetitions). The terms of the training program were applied according to the recommendations of the elite development program of the Quebec Hockey Federation (Hockey Quebec, 2013). Even if the hockey season was over, all players continued to

train off and on-ice during April and May. In June, all sporting activities were stopped to allow players to prepare for their school exams. From July to mid-August, the participants trained off-ice 4 days/week for 90 min/day following the same training program as previously described.

The summer training program was prepared by the Quebec Hockey Federation and was the same for those 18 players that were monitored (aerobic-anaerobic interval training, flexibility, plyometric and resistance training with free weights and/or machines). During this period, the players trained mostly individually. The last two weeks of August represented the selection camp for the different hockey organizations. All players who made their respective team were invited to join the hockey program for another year.

Off-ice assessment

The anthropometric characteristics of the players are reported in Table 3.1. Body height (BH), body mass (BM), body composition, and body mass index (BMI) were measured using standardized instruments (Lafayette stadiometer, precision of 0.1 cm; Detecto weight scale, precision of 0.1 kg and Harpenden skinfolds calliper, precision of 0.1 mm, respectively). The percentage of body fat (PBF) was estimated from the total of ten subcutaneous adipose skinfolds (TSAS) at the following sites: triceps, calf, abdominal, suprailiac, subscapular, midaxillary, pectoral, suprapatellar, cheek, and chin (Allen et al., 1956). The three components of the somatotype, endomorphy (Endo), mesomorphy (Meso), and ectomorphy (Ecto) were calculated accordingly to the Heath and Carter method (Carter, 1980). The epicondyles breadth of the humerus and femur (Lafayette anthropometric caliper) and the circumferences of the biceps and calf (Gulick anthropometric tape), which are needed for the estimation of the somatotype, were recorded with precision of 0.1 cm. All anthropometric measurements were performed using standardized techniques (Lohman et al., 1988).

The physiological fitness test battery included 3 muscular endurance tests and 1 maximal aerobic test (Table 3.2). Muscular endurance was assessed by push-ups (Pup; 50 rep/min), sit-ups (Sup; 40 rep/min), and burpees (Bur; 25 rep/min) at an imposed cadence (maximum of 100 repetitions) as suggested by Leone and Léger (1985). Maximal aerobic power (MAP) was measured on a treadmill at a speed of 10 km·h⁻¹, with an increase in grade of 2.5% every 3 minutes until exhaustion (Leone et al., 2002). Oxygen and carbon dioxide concentrations were measured by a breath-by-breath metabolic analyzer (SensorMedics model 2900c, Anaheim, CA). All of the measurements were performed at all the 3 testing sessions.

On-ice assessment

On-ice performance was evaluated in agreement with the procedures recommended by Larivière et al. (1991), that comprised 5 skating tests (Table 3.2): a forward skating speed (FSS) test, a backward skating speed (BSS) test, a skating agility with the puck (SAP) test, a skating agility without the puck (SAWP) test, and a skating anaerobic power (SAnP) test. The FSS and BSS tests consisted of skating as fast as possible in a straight line over a distance of 30 m. The SAP test consisted of skating at maximal velocity back and forth on an 18 m course. During the test, the player needed to skate in a straight line, make abrupt stops and tight turns around pylons while controlling a puck for a total distance of 108 m (6 x 18 m). The same procedure was followed for the SAWP test, although without a puck. Finally, the SAnP test consisted of skating back and forth on an 18 m course at maximal speed with abrupt stops at each end. The player had to complete 12 consecutive 18 m courses that totalled 216 m. In order to assess the overall skating agility of each player, a new variable called an overall skating index (OSI) was created by calculating the average time (s) of the 5 on-ice tests.

Performances of all tests were recorded on videotape in order to obtain the final elapsed time of each test. The time was calculated by viewing individually and frame-by-frame each player for all 5 tests. As reported by Leone et al. (2006), this procedure presents

several advantages: 1) it is easy to determine the exact moment of the beginning and/or ending of each test; 2) it eliminates a part of the variability produced by the tester's or the player's reaction time that reduces the internal and external error of measurement; 3) the level of precision is good (0.017 s), which is important, especially when assessing time short distances; 4) it is possible to reassess each test as many times and at any time as necessary; and 5) video cameras are nowadays readily available.

3.1.4 Statistics

Descriptive statistics are presented as means and standard deviations (means \pm SD). The Shapiro-Wilk test for normality was conducted for all variables. Comparisons of means were calculated using the Friedman non-parametric test for repeated measures. Correlations were calculated using the Spearman coefficient test. The level of significance was set at $p \leq 0.05$. All statistical analyses were performed using SPSS software package (Version 21.0).

3.1.5 Results

Table 3.1 presents means and standard deviations for all anthropometric variables for each of three measurement sessions. The level of significance between sessions of measurement is shown as p-value. Generally speaking, most of the anthropometric variables changed significantly over the year except for the somatotype, the PBF and the TSAS that remained relatively stable during all three measurement sessions (INSERT TABLE 3.1 HERE).

Table 3.2 shows changes in physical, physiological and skating characteristics (means \pm SD) of the three testing sessions. Most off-ice muscular variables improved significantly between each of the three measurement sessions. However, one should note an important exception considering maximal aerobic power expressed in $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, which was maintained throughout the hockey season, but improved during the

off-season. All skating performance variables improved significantly during the hockey season (SN1 and SN2) and most variables between the two hockey seasons (SN1 and SN3). On the other hand, none of these variables improved significantly after the off-season (SN2 and SN3) except for the backward skating (INSERT TABLE 3.2 HERE).

Finally, Table 3.3 shows Spearman correlation coefficients (r) between the skating performance tests (s) and anthropometric measurements, on the one hand, and between the physiological off-ice fitness values on the other hand (INSERT TABLE 3.3 HERE).

Among all these variables, very few were reasonably correlated with skating performance tests. Furthermore, correlation coefficients did not show improvement over time, even though the values originated from repeated measures. One can, however, note that PBF, $\Sigma 10$ skinfolds, endomorphic (Endo), and ectomorphic (Ecto) components of the somatotype were generally negatively related with skating performance (positive correlation with skating time means negative impact), while mesomorphy (Meso) was positively associated. Yet, the correlation coefficients were generally low and mostly non-significant. A similar situation was observed regarding the physiological fitness tests. Actually, we noted that correlation coefficients between skating performance tests and off-ice physiological measures were usually low and non-significant ($p > 0.05$).

3.1.6 Discussion

This study is certainly one of the few, if any, to present anthropometric, physiological, and on-ice skating performance profiles from repeated measures in elite age-group hockey players. Despite some limitations (limited age-group categories, number of participants, and player position that included only forwards), the results presented reveal several interesting findings.

Morphological profile

Based on data from the Canada Fitness Survey, the body mass and height of elite hockey players in this study were higher than the values observed in the general population. The same observation can be made for bone breadths and muscle girths (Table 3.1) where higher values were found in hockey players than those defined for individuals of the same age (Docherty, 1996). This is more or less surprising considering that ice hockey is a contact sport that requires some morphological sturdiness. As meaning, scouts often tend to recommend the selection of the most massive players. In our study, TSAS, BMI, and PBF tended to drop during the hockey season (Table 3.1) and were similar to values for elite hockey players presented elsewhere (Green et al., 2006; Potteiger et al., 2010).

Physiological profile

During the hockey season (September to March), all physiological variables improved significantly except for the MAP expressed in $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ that remained rather at the same level (Table 3.2). MAP has been shown to explain approximately 10% of the common variance in the ability to repeat on ice sprints (Peterson et al., 2015). Thus, aerobic capacity appears to be used for recovery and utilization of lactate between ice shifts, and ice shifts appear to be mostly anaerobic in nature (Peterson et al., 2016). Nonetheless, the improvement in physical qualities such as muscular endurance during the hockey season can be explained notably in two particular ways. First, such improvement is caused by the normal evolution resulting from the physical maturation process that occurs during adolescence. Indeed, most of these physical qualities improve with age during adolescence, even in individuals who are not particularly athletic (Baquet et al., 2006; Gerber et al., 2014).

Second, since the players also trained off-ice during the hockey season, the combination of these two events largely explains the observed gains. Nevertheless, this

is not the case for the MAP expressed relatively to body mass, which tends to remain stable during a hockey season. This point is particularly interesting since aerobic training was considerably reduced during this period. The summer training during which a greater number of hours was devoted to the oxidative system development perhaps allowed players to reach a sufficient level to complete the hockey season with a suitable aerobic reserve (Table 3.2). In addition, the intermittent nature of the game, which is punctuated by repeated bouts of high-intensity efforts, seems to be sufficient to maintain fairly stable MAP throughout the hockey season.

As for MAP, all physiological variables improved significantly during the summer period, mainly due to the much greater time spent on off-ice physical fitness. Intensive physical training prior to the selection camps (July-August) certainly contributed to accelerating the improvement of players in relation to the specific physical qualities trained during this period.

Skating performance profile

During the hockey season, all skating variables improved significantly (Table 3.2). Considering that training sessions were focused primarily on exercises that involved skating situations, this improvement does not appear surprising. Nonetheless, what is more astounding is the fact that some skating variables did not improve between the beginnings of the two consecutive hockey seasons (Table 3.2). In fact, according to the data presented by Larivière et al. (1991), the expected improvement of the forward and backward skating performance tests between 13 and 14 years old should be approximately 6.5% (0.8% and 2.3% for forward and backward skating, respectively, in the present study). This gain was, however, reported for players of a much lower level than those of the present study. Therefore, it becomes more difficult to detect greater increases of performance in a more homogeneous elite group which is, in addition, at a level that is much closer to the expected maximum values. It should be also noted that these two skating tests are those that require the least amount of

technical skills since they do not require puck control, stops or changes of the direction. These aforementioned reasons may explain why elite players in these two skating techniques reach more easily a high-performance level, or at least show a much slower progression especially considering that they have already achieved an excellent level of skating (less room for improvement).

During the off-season, none of the skating performance improved although the players trained intensively with the aim to improve their lower limb strength during several weeks. In fact, the backward skating test showed significant performance deterioration during this period. This suggests that the summer off-ice training programs such as those currently designed by many hockey organizations, fail to contribute to the improvement of fundamental skills such as skating ability. These training programs will, at best, maintain the level reached at the end of the previous season which is not sufficient considering that at this age and at this level, it is expected that the progression should continue throughout the year. For some skating skills less exploited during the hockey season such as backward skating by forward players for example, the summer training sessions do not even allow to maintain the level previously reached. It is therefore not surprising to hear hockey players often complain of not being "game shape" during the first weeks of on-ice practices although they train hard off-ice throughout the summer.

The lack of specificity of the off-ice training session may be an explanation of the absence of on-ice improvement, even for young players in progression. The proposed exercises should be as close as possible to the muscular and cardiorespiratory requirements observed during a hockey game. The many training aids actually available that can raise the level of specificity could be further exploited. It also appears important to include a certain number of on-ice structured skating exercises during the summer camps. Designing an off-ice training program with specific exercises together

with skating sessions probably would better prepare players for the upcoming hockey season. This finding is in fact also supported by other recent works (Farlinger and Fowles, 2008; Lee et al., 2014).

On-ice performance versus morphological characteristics and physiological testing

As shown in Table 3.3, most anthropometric variables are poorly correlated with the results of skating tests. The presence of a highly homogeneous group of players clearly explains this situation. The variables that best correlated within the conducted skating tests were age, BM, BMI and Meso. This is not particularly surprising since older players are usually heavier. In addition, since body fat of players was relatively low ($\approx 13.5\%$), we can assume that the difference in body mass was caused by greater muscle mass that ultimately would result in a greater skating speed. This possibility is also indirectly confirmed by the fact that the index of mesomorphy which reflects the rate of muscularity was also positively correlated with skating speed tests.

As expected, the somatotype of players showed a clear mesomorphic trend that was typically positively associated with skating performance variables (Table 3.3). A more surprising finding, however, was the importance of the ectomorphic component in these players. Indeed, an important ectomorphic component is often negatively related to athletic performance. Likewise, this is only true in individuals with too scanty muscle mass (Watson, 1988), which is not the case of hockey players in our study. In these circumstances, a relatively strong ectomorphic component does not hinder hockey performance. Finally, the endomorphic component was negatively related with performance variables, which is typically the case, even in the non-athletic population (Bale, 1986; Bale et al., 1984).

In this project, we used off-ice assessment tests similar to those often recommended to evaluate high-level hockey players (Burr et al., 2008). This type of testing is still regularly employed to help scouts from different hockey organizations to select players.

The National Hockey League (NHL), which is the strongest worldwide professional hockey league, uses similar tests at their annual entry draft combine (Burr et al., 2008; Vescovi et al., 2006). However, it is quite clear from this study that most of the variables measured off-ice are not, or at least are very poorly associated with on-ice performance. Similar results were also reported by others in older elite hockey players with a percentage of explained variance that rarely exceeded 20% (Behm et al., 2005; Peyer et al., 2011; Vescovi et al., 2006). When the assessment is intended for less homogeneous groups, it is possible that the predictive value of such tests increases. Leone et al. (2002) demonstrated that based on similar anthropometric and physiological measurements, it was possible to discriminate young elite athletes from different sports. However, it is noteworthy that already in high performance age-group athletes, there are specific families of physiological and morphological profiles that characterize athletes according to the sport practiced. In this context, athletes were compared based on their respective sport from a very heterogeneous group and therefore, more easily distinguishable.

As for training methods, this type of off-ice physical tests is not sensitive enough to accurately reflect the specific demands to play hockey. It is necessary to move towards physical tests much more related to the task. For example, Leone et al. (2007) recently showed with a group of elite players of the same age as those in the present study that values of $\dot{V}O_2\text{max}$ measured during a shuttle running test (Léger et al., 1988) underestimated by $6,2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (12,9%) the energetic cost measured during a similar shuttle skating on-ice test. Likewise, Noonan (2010) showed great intra and inter-individual variability in the production of blood lactate during a hockey game. These results clearly show that the use of tests performed outside the specific context of performance fail to accurately translate the real physiological requirements of the game.

What does this article add?

This study is one of the first to present repeated measures, which describe the evolution of morphological, physiological, and skating performance variables of high-level ice hockey players over a complete hockey season. This cohort represents a sample of players competing at the highest level in Canada in their age group (13-14 years old). This age group is particularly interesting as it constitutes a turning point in their hockey career. Indeed, the best players will be promoted to the AAA level, which brings them closer to the major Canadian junior leagues. Since most players from this study will reach this level, these data represent somewhat of an ideal profile of a player that is likely to reach the highest level of performance, at least with regard to forward hockey players. Thus, the descriptive data presented, as well as their evolution over a period of 12 months, provide an important source of information for countries that aspire to compete against the best nations in the world in this sport. Finally, this study encourages a reflection on the best means (tools) and ways (methods) to assess and/or train off-ice youth hockey players by taking a critical look at currently employed methods.

3.1.7 Conclusions

To our knowledge, this is the first study that has documented the evolution of the morphological, physiological and on-ice performance profiles of elite age-group hockey players over a period of 12 months. Based on the data presented in this paper, this information can certainly be a useful benchmark mainly for emerging ice hockey countries, especially because this period is crucial for the remainder of the player's career. We also showed that there was a poor relationship between anthropometric and off-ice physiological variables versus on-ice performance. Furthermore, this research reveals the importance of carefully choosing training methods and testing protocols in order to better monitor and then improve on-ice performance. Based on repeated measures over a complete hockey season, this study highlighted the importance of

using more specific assessment tests and training methods, particularly with a homogeneous group of young elite athletes.

3.1.8 References

- Allen TH, Peng MT, Cheng KP, Huang TF, Chang C, Fang HS. Prediction of total adiposity from skinfolds and the curvilinear relationship between external and internal adiposity. *Metabolism*, 1956; 5: 546-552
- Bale P. *The relationship of somatotype and body composition to strength in a group of men and women sport science student*. JAP Day (ed). In: Perspectives in kinanthropometry. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers; 1986
- Bale P, Colley E, Mayhew JL. Size and somatotype correlates on strength and physiological performance in adult male student. *Aust J Sci Med Sport*, 1984; 16: 2-6
- Baquet G, Twisk JW, Kemper HC, Van Praagh E, Berthoin S. Longitudinal follow-up of fitness during childhood: interaction with physical activity. *Am J Hum Biol*, 2006; 18: 51-58
- Bracko MR, George JD. Prediction of ice skating performance with off-ice testing in women's ice hockey players. *J Strength Cond Res*, 2001; 15: 116-122
- Behm DG, Wahl MJ, Button DC, Power KE, Anderson KG. Relationship between hockey skating speed and selected performance measures. *J Strength Cond Res*, 2005; 19: 326-331
- Burr JF, Jamnik RK, Baker J, Macpherson A, Gledhill N, McGuire EJ. Relationship of physical fitness test results and hockey playing potential in elite-level ice hockey players. *J Strength Cond Res*, 2008; 22: 1535-1543
- Carter JEL. *The Heath-Carter somatotype method (3rd ed)*. San Diego, CA: San Diego State University Syllabus Service; 1980
- Cox MH, Miles DS, Verde TJ, Rhodes EC. Applied physiology of ice hockey. *Sports Med*, 1995; 19: 184-201
- Docherty D. *Measurement in pediatric exercise science*. Champaign, IL: Human Kinetics Publisher; 1996

- Ebben WP, Carroll RM, Simenz CJ. Strength and conditioning practices of the National Hockey League strength and conditioning coaches. *J Strength Cond Res*, 2004; 18: 889-897
- Farlinger CM, Fowles JR. The effect of sequence of skating-specific training on skating performance. *Int J Sports Physiol Perform*, 2008; 3: 185-198
- Gerber BP, Pienaar AE, Kruger A, Ellis S. Interrelations between anthropometric and fitness changes during mid-adolescence in boys: A 2-year longitudinal study. *Am J Hum Biol*, 2014; 26: 617-624
- Green MR, Pivarnik JM, Carrier DP, Womack CJ. Relationship between physiological profiles and on-ice performance of a National Collegiate Athletic Association Division I hockey team. *J Strength Cond Res*, 2006; 20: 43-46
- Hockey Quebec: Development plan for excellence in ice hockey– 2009-2013. Retrieved from http://www.publicationsports.com/ressources/files/498/Plan_de_developpement_de_lexence_en_hockey_sur_glace51c5ed483c284.pdf; Accessed on: 02.10.2016
- Larivière G, Godbout P, Lamontagne M. *Physical fitness and technical skill appraisal of ice hockey players*. Ottawa, ON: Canadian Hockey Association; 1991
- Lee C, Lee S, Yoo J. The effect of a complex training program on skating abilities in ice hockey players. *J Phys Ther Sci*, 2014; 26: 533-537
- Léger LA, Mercier D, Gadoury C, Lambert J. The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *J Sports Med*, 1988; 6: 93-101
- Leone M, Léger L. Muscular endurance tests with imposed pace (in French). *CAHPER J*, 1985; 55: 27-33
- Leone M, Larivière G, Comtois AS. Discriminant analysis of anthropometric and biomotor variables among elite adolescent female athletes in four sports. *J Sports Sci*, 2002; 20: 443-449
- Leone M, Comtois AS, Tremblay F, Léger L. Specificity of running speed and agility in competitive junior tennis players. *Med Sci Tennis*, 2006; 11: 10-11

- Leone M, Léger LA, Larivière G, Comtois AS. An on-ice aerobic maximal multistage shuttle skate test for elite adolescent hockey players. *Int Sports Med*, 2007; 28: 823–828
- Lohman TG, Roche AF, Martorell R. *Anthropometric standardization reference manual*. Champaign, IL: Human Kinetics Publisher; 1988
- Montgomery DL. Physiology of ice hockey. *Sports Med*, 1988; 5: 99–126
- Montgomery DL. Physiological profile of professional hockey players - a longitudinal comparison. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2006; 31: 181-185
- Nightingale SC, Miller S, Turner A. The usefulness and reliability of fitness testing protocols for ice hockey players: A literature review. *J Strength Cond Res*, 2013; 27: 1742-1748
- Noonan BC. Intragame blood-lactate values during ice hockey and their relationships to commonly used hockey testing protocols. *J Strength Cond Res*, 2010; 24: 2290-2295
- Peterson BJ, Fitzgerald JS, Dietz CC, Ziegler KS, Ingraham SJ, Baker SE, Snyder EM. Aerobic capacity is associated with improved repeated shift performance in hockey. *J Strength Cond Res*, 2015; 29: 1465-1472
- Peterson BJ, Fitzgerald JS, Dietz CC, Ziegler KS, Baker SE, Snyder EM. Off-ice anaerobic power does not predict on-ice repeated shift performance in hockey. *J Strength Cond Res*, 2016; 30: 2375-2381
- Peyer KL, Pivarnik JM, Eisenmann JC, Vorkapich M. Physiological characteristics of National Collegiate Athletic Association (NCAA) division I ice hockey players and their relation to game performance. *J Strength Cond Res*, 2011; 25: 1183–1192
- Potteiger JA, Smith DL, Maier ML, Foster TS. Relationship between body composition, leg strength, anaerobic power, and on-ice skating performance in division I men's hockey athletes. *J Strength Cond Res*, 2010; 24: 1755–1762
- Vescovi JD, Murray TM, Fiala KA, VanHeest JL. Off-ice performance and draft status of elite ice hockey players. *Int J Sports Physiol Perform*, 2006; 1: 207-221

Vescovi JD, Murray TM, VanHeest JL. Positional performance profiling of elite ice hockey players. *Int J Sports Physiol Perform*, 2006; 1: 84-94

Watson AWS. Discriminant analysis of physiques of schoolboy rugby players, hurlers and non-team members. *J Sport Sci*, 1988; 6: 131-140

Table 3.1*Anthropometric characteristics of Bantam elite hockey players*

Variables	Session 1	Session 2	Session 3	<i>p</i> -values		
				a	b	c
Players (N = 18)						
Age (yr)	13.1 ± 0.6	13.6 ± 0.6	14.2 ± 0.6	0.000	0.000	0.000
Body mass (kg)	50.5 ± 5.9	54.2 ± 5.5	58.6 ± 6.0	0.000	0.000	0.000
Body height (cm)	161.3 ± 5.8	165.3 ± 5.4	168.8 ± 4.7	0.000	0.000	0.000
BMI (kg·m ⁻²)	19.4 ± 1.5	19.8 ± 1.4	20.5 ± 1.8	0.005	0.001	0.005
∑ 10 skinfolds (mm)	78.4 ± 17.1	74.8 ± 17.2	78.2 ± 20.0	0.637	0.157	0.346
Body fat (%)	14.7 ± 3.3	12.9 ± 3.0	13.3 ± 3.7	0.225	0.637	0.808
Elbow breadth (cm)	6.62 ± 0.28	6.80 ± 0.24	6.92 ± 0.22	0.000	0.000	0.001
Knee breadth (cm)	9.43 ± 0.41	9.68 ± 0.33	9.74 ± 0.32	0.000	0.000	0.008
Calf girth (cm)	33.2 ± 2.1	34.2 ± 2.1	34.7 ± 2.5	0.000	0.000	0.003
Biceps girth (cm)	26.3 ± 2.1	27.2 ± 1.8	28.2 ± 2.1	0.000	0.000	0.000
Endomorphy	2.34 ± 0.66	2.14 ± 0.57	2.16 ± 0.62	0.157	0.157	0.637
Mesomorphy	4.68 ± 0.81	4.83 ± 0.69	4.70 ± 0.85	0.005	0.637	0.018
Ectomorphy	3.54 ± 0.71	3.43 ± 0.75	3.30 ± 0.99	0.467	0.637	0.157

Means and standard deviation (means ± SD); p-values: a) testing session 1 vs testing session 2; b) testing session 1 vs testing session 3; c) testing session 2 vs testing session 3. Significant difference at $p \leq 0.05$.

Table 3.2

Physical, physiological and skating characteristics of Bantam elite hockey players.

Variables	Session 1	Session 2	Session 3	<i>p</i> -values		
				a	b	c
Physiological characteristics (N = 18)						
Cadence push-ups (nb)	27.5 ± 8.3	35.8 ± 9.5	39.4 ± 9.5	0.000	0.000	0.005
Cadence sit-ups (nb)	36.7 ± 11.5	40.6 ± 9.0	48.2 ± 12.9	0.225	0.008	0.012
Cadence burpees (nb)	40.4 ± 22.7	62.2 ± 27.7	81.4 ± 26.0	0.008	0.000	0.050
MAP (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	52.7 ± 2.4	52.1 ± 3.5	53.6 ± 3.0	0.637	0.018	0.003
MAP (l·min ⁻¹)	2.66 ± 0.36	2.83 ± 0.35	3.14 ± 0.33	0.000	0.000	0.000
Skating characteristics (N = 18)						
Forward skating (s)	5.25 ± 0.41	5.12 ± 0.45	5.21 ± 0.38	0.000	0.346	0.090
Backward skating (s)	6.67 ± 0.48	6.42 ± 0.54	6.52 ± 0.62	0.018	0.157	0.012
Agility with a puck (s)	28.27 ± 2.81	27.07 ± 2.88	27.09 ± 3.12	0.005	0.005	0.617
Agility without a puck (s)	27.20 ± 2.45	25.90 ± 2.54	25.95 ± 2.69	0.000	0.000	0.617
Anaerobic skating (s)	57.29 ± 4.85	54.22 ± 4.93	54.08 ± 5.11	0.000	0.000	0.467
On-ice 5 tests average (s)	24.94 ± 2.12	23.75 ± 2.23	23.75 ± 2.34	0.000	0.000	0.808

Means and standard deviation (means ± SD); p-values: a) testing session 1 vs testing session 2; b) testing session 1 vs testing session 3; c) testing session 2 vs testing session 3. Significant difference set at $p \leq 0.05$.

Table 3.3

Spearman correlation coefficients between skating performance tests (s) and anthropometric and physiological fitness tests (off-ice) for each of the corresponding assessment sessions.

Variables	Assessment session 1					
	FSS	BSS	SAP	SAWP	SAnP	OSI
Age (yrs)	-0.103	-0.181	-0.246	-0.437	-0.362	-0.448
BH (cm)	-0.119	-0.187	-0.009	-0.247	-0.086	-0.178
BM (kg)	-0.383	-0.028	-0.158	-0.501*	-0.514*	-0.411
BMI (kg/m ²)	-0.428	-0.007	-0.133	-0.447	-0.544*	-0.374
Σ10SF (mm)	-0.060	-0.491*	0.337	-0.009	-0.157	0.135
PBF (%)	0.137	0.550*	0.351	0.105	-0.067	0.218
Endo	0.213	0.558*	0.454	0.128	-0.064	0.250
Meso	-0.423	-0.128	-0.337	-0.546	-0.626*	-0.532*
Ecto	0.253	0.007	0.179	0.271	0.377	0.293
Pup (nbr)	0.089	0.053	-0.028	-0.134	-0.438	-0.253
Sup (nbr)	0.420	-0.021	0.026	0.24	0.016	-0.002
Bur (nbr)	-0.462	-0.324	-0.263	-0.327	-0.256	-0.336
MAP (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	-0.336	-0.412	-0.237	-0.305	-0.332	-0.383
Variables	Assessment session 2					
	FSS	BSS	SAP	SAWP	SAnP	OSI
Age (yrs)	-0.349	-0.292	-0.439	-0.453	-0.459	-0.513*
BH (cm)	-0.170	-0.172	-0.143	-0.148	-0.315	-0.292
BM (kg)	-0.507*	-0.159	-0.311	-0.409	-0.369	-0.370
BMI (kg/m ²)	-0.433	-0.135	-0.220	-0.366	-0.240	-0.222
Σ10SF (mm)	0.140	0.364	0.306	0.261	0.481*	0.446
PBF (%)	-0.160	0.362	0.332	0.285	0.500*	0.470*
Endo	0.346	0.453	0.418	0.377	0.569*	0.523*
Meso	-0.500*	-0.272	-0.514*	-0.546*	-0.365	-0.400
Ecto	0.301	0.185	0.185	0.298	0.131	0.112
Pup (nbr)	-0.053	-0.058	-0.166	-0.156	-0.092	-0.091
Sup (nbr)	-0.022	-0.245	-0.319	-0.241	-0.371	-0.371
Bur (nbr)	-0.159	-0.579*	-0.164	-0.253	-0.178	-0.154
MAP (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	-0.190	-0.286	-0.026	-0.046	-0.356	-0.187
Variables	Assessment session 3					
	FSS	BSS	SAP	SAWP	SAnP	OSI
Age (yrs)	-0.471*	-0.225	-0.509*	-0.575*	-0.390	-0.524*
BH (cm)	-0.046	-0.058	0.011	-0.108	-0.255	-0.154
BM (kg)	-0.401	-0.201	-0.346	-0.219	-0.396	-0.372
BMI (kg/m ²)	-0.540*	-0.413	-0.580*	-0.401	-0.476*	-0.519*
Σ10SF (mm)	-0.013	0.112	0.069	0.226	0.265	0.209
PBF (%)	0.019	0.126	0.127	0.254	0.326	0.258
Endo	-0.011	0.093	0.088	0.248	0.224	0.203
Meso	-0.490*	-0.307	-0.446	-0.273	-0.335	-0.383
Ecto	0.534*	0.432	0.578*	0.377	0.428	0.474*
Pup (nbr)	-0.039	0.118	-0.185	-0.086	-0.015	-0.055
Sup (nbr)	-0.073	-0.062	-0.144	-0.184	-0.184	-0.228
Bur (nbr)	-0.382	-0.154	-0.431	-0.302	-0.222	-0.321
MAP (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	-0.152	-0.284	-0.154	-0.197	-0.263	-0.231

BH = Body height; BM = Body mass; BMI = Body mass index; Σ10SF = Sum of 10 skinfolds; PBF = Percentage of body fat; Endo = Endomorphy; Meso = Mesomorphy; Endo = Endomorphy; Pup = Push-up; Sup = Sit-up; Bur = Burpee; MAP = Maximal aerobic power; FSS = Forward skating speed; BSS = Backward skating speed; SAP = Skating agility with puck; SAWP = Skating agility without puck; SanP = Skating anaerobic power; OSI = Overall skating index: Bold = significant at $p \leq 0.05$.

CHAPITRE IV

ARTICLE II

4.1 Updating the skating multistage aerobic test and correction for $\dot{V}O_2$ max prediction using a new skating economy index in elite adolescent ice hockey players

Article publié dans la revue scientifique : Journal of Strength and Conditioning Research, 2018 May 7. doi: 10.1519/JSC.0000000000002602. [Epub ahead of print]

Maxime Allisse^{1,5}, Hung Tien Bui², Luc Léger³, Alain-Steve Comtois⁴, Mario Leone¹

¹Department of Health Sciences, University of Québec in Chicoutimi, Saguenay (QC), Canada.

²Department of Applied Sciences, University of Québec in Chicoutimi, Saguenay (QC), Canada.

³Department of Kinesiology, University of Montréal, Montréal (QC), Canada.

⁴Department of Exercise Sciences, University of Québec in Montréal, Montréal (QC), Canada.

⁵Department of Exercise Sciences, University of Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, France.

4.1.1 Abstract

A number of field tests, including the Skating Multistage Aerobic Test (SMAT), have been developed to predict $\dot{V}O_2\text{max}$ in ice hockey players. The SMAT, like most field tests, assumes that participants who reach a given stage have the same oxygen uptake, which is not usually true. Thus, the objectives of this research are to update the $\dot{V}O_2$ values during the SMAT using a portable breath-by-breath metabolic analyzer and to propose a simple index of skating economy to improve the prediction of oxygen uptake. Twenty-six elite hockey players (age 15.8 ± 1.3 years) participated in this study. The oxygen uptake was assessed using a portable metabolic analyzer (K4_b²) during an on-ice maximal shuttle skate test. To develop an index of skating economy called the skating stride index (SSI), the number of skating strides was compiled for each stage of the test. The SMAT enabled the prediction of the $\dot{V}O_2\text{max}$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) from the maximal velocity ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) and the SSI ($\text{skating strides}\cdot\text{kg}^{-1}$) using the following regression equation: $\dot{V}O_2\text{max} = (14.94 \times \text{Maximal Velocity}) + (3.68 \times \text{SSI}) - 24.98$ ($r = 0.95$, $\text{SEE} = 1.92$). This research allowed for the update of the oxygen uptake values of the SMAT and proposed a simple measure of skating efficiency for a more accurate evaluation of $\dot{V}O_2\text{max}$ in elite age-group hockey players. By comparing the highest and lowest observed SSI scores in our sample, it was noted that the $\dot{V}O_2$ values can vary by up to $5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Our results suggest that skating economy should be included in the prediction of $\dot{V}O_2\text{max}$ in order to improve prediction accuracy.

Key words: maximal aerobic power, energetic cost, field test

4.1.2 Introduction

Maximal aerobic power (MAP), which refers to the body's highest oxygen consumption rate, is an important parameter in many sports (2, 4, 24, 29). Over the years, numerous field tests have been developed to predict $\dot{V}O_{2\max}$ (10, 12, 17, 19, 22). The major advantages of having such field tests are that there is no expensive equipment required and the possibility of evaluating many different athletes at the same time.

In the case of ice hockey, studies have shown that the aerobic metabolism is responsible for as much as 31% of total energy expenditure and thus, is considered an important performance factor (3, 25, 27) (Burr, Montgomery, Seliger). Until recently, aerobic power assessment of hockey players has often been performed off-ice on a treadmill or on a cycle ergometer. However, since $\dot{V}O_{2\max}$ is specific to a given activity, aerobic power should be evaluated using more task-specific tests (9). In 2007, Leone et al. (19) proposed the Skating Multistage Aerobic Test (SMAT) which is an intermittent on-ice aerobic maximal multistage shuttle skate test used to predict MAP in elite hockey players. In that study, aerobic power was determined using the method of retro-extrapolation of the O_2 recovery curve at time zero, as proposed by Léger et al. (14, 15). That procedure allowed the determination of a regression equation for the prediction of $\dot{V}O_{2\max}$ using the maximal speed achieved during the test. With the advent of modern technologies such as portable breath-by-breath automated metabolic analyzers, it would be possible today to validate the O_2 requirement with more accuracy during the whole duration of the multistage test.

While multistage field tests provide an extremely useful tool for sport-specific evaluation of MAP, they often neglect the impact of mechanical economy. Indeed, in their original form, most field tests assume that participants who reach the same speed have the same oxygen uptake. However, several studies have demonstrated that

mechanical economy can have an important role in the energy expenditure in many sports, especially in those that require high level of technical skills such as swimming, cross-country skiing, rowing and ice hockey. The classic 20m shuttle-run test assumes that participants who reach the same speed have the same energy expenditure (16,17). However, Folland et al. (8) demonstrated that running technique can account for up to 39% of the variance in running economy. Indeed, if two physically identical participants ran at the same velocity, the one with better technique would likely have a lower O₂ uptake. Such observations have also been made in other sports such as swimming (12,13), rowing (28) and cross-country skiing (1,20). The SMAT, which was inspired by the 20m shuttle-run test, also assumes that individuals who reach a given stage have the same energy expenditure.

In 1988, based on the work of Craig and Pendergast (5), Lavoie and al. proposed a simple method to correct the predicted $\dot{V}O_2$ max values by taking into account differences in swimming economy by integrating what they call the arm stroke index (ASI) (12,13). The ASI is determined by counting participants' arm movements while swimming 125 m at a self-imposed pace. It is given by the following equation:

$$ASI = S_{125m} \cdot v^{-1} \quad (1)$$

In equation 1, S_{125m} is the number of arm strokes over a distance of 125m and v is the average speed ($m \cdot s^{-1}$). Thus, a lower ASI value is indicative of a better swimming economy. Because the swimmer's body mass (BM) is supported by hydrostatic pressure, its impact on mechanical economy is negligible. This, however, is not the case in weight bearing activities. In ice hockey, for instance, players must displace and support their own BM while skating. Indeed, according to Newton's second law, the force required to accelerate or to decelerate depends on the mass. This is especially important in ice hockey where the players are often required to stop and go. Thus, BM should be considered when evaluating skating economy in order to adjust the energetic cost.

Thus, the objectives of this research are (a) to update the energy expenditure measurements during the SMAT using a portable breath-by-breath metabolic analyzer and (b) to propose an index of skating efficiency so called “skating stride index (SSI)” to more accurately predict $\dot{V}O_2\text{max}$.

4.1.3 Methods

Experimental Approach to the Problem

A correlational study design was used to update the oxygen uptake values of the SMAT including a new measure of skating efficiency (SSI) which allows for a more accurate evaluation of $\dot{V}O_2\text{max}$ in elite youth ice hockey players.

Subjects

Twenty-six male elite youth ice hockey players belonging to the North-East division of the French Ice Hockey Federation (FIHF) participated in the study. This division includes the best French hockey players aged between 13 and 18 years. Compared with Canadian levels, the French players ranked mostly in the “BB” category, whereas in Canada, for example, the best players evolve in leagues ranked “AA” or “AAA,” which represents a higher level. The study was conducted at the beginning of the hockey season (September) at the request of the team’s management and in agreement with FIHF policy. All players were informed of the test protocol and agreed to participate. Parental consent was obtained before the beginning of the tests because the players were under 18 years of age. The subjects also provided written informed consent. This project was approved by the institutional ethics committees of the University of Québec in Chicoutimi.

Procedures

Before the beginning of the testing session, anthropometric measures were collected. Height was measured using a Seca stadiometer (Seca, Model 214; Lafayette, LA, USA) to the nearest 0.1 cm. Body mass was assessed using an Oregon Scientific scale (Model GA-101; Tualatin, OR, USA) to the nearest 0.1 kg. Body mass index (BMI) was computed using the following equation: $\text{BM (kg)}/\text{height}^2 \text{ (m}^2\text{)}$. All anthropometric measurements were collected in the afternoon between noon and 4:00 PM. The on-ice testing procedure (SMAT) used was first proposed by Leone et al. (19). Briefly, the test was administered in an indoor ice-skating rink on a 45-m course defined with markers located at both extremities. The pace was dictated by audible signals generated by an audio player. The sound signals help synchronize skating velocity of all participants by indicating when they are expected to reach a given marker. The players were asked to continuously skate until 1 m before the end of the course, at which point they were allowed to glide. The initial skating velocity was set to $3.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($12.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), and the subsequent stepwise increments were set to $0.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($0.72 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Because the first few stages were set at relatively low velocities, this period was considered as a warm-up. In response to the first audible signal, the players began skating and adjusted their velocity so that they would reach the end of the course in synchrony with the second audible signal. At that point, the players would stop and immediately start skating in the opposite direction (stop and start, no turn around). This process continued until the end of the 1-minute stage, at which point the players were instructed to skate slowly to the closest end of the 45-m course. They were given a 30-second rest period before the beginning of the next stage. The test ended when the participant could no longer follow the given pace. During the entire test, the heart rate (HR) was measured using a Polar HR transmitter (Model T31; Polar Electro, Kempele, Finland). The entire test procedure lasted approximately 15 minutes including the 30-second rest periods.

Skating stride index : To determine a skating economy index, the number of skating strides was counted for each stage. In this investigation, skating economy is characterized by the SSI, which is obtained by dividing the number of skating strides for a given stage by the BM of the player ($SSI = \# \text{ skating strides} \cdot \text{kg}^{-1}$). The inclusion of the BM in the SSI equation is justified by allometric studies showing that the use of $\text{ml O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ units have an impact on $\dot{V}\text{O}_2$ values during weight-bearing activities (18). Although some may argue that ice hockey is more of a gliding rather than a pure weightbearing activity, in the case of the proposed test, the relatively high number of stop-and-starts (velocity = 0) justifies the use of the BM in the calculation of skating efficiency. In addition, with the exception of the first few stages, the SMAT test forces the players to skate continuously to respect the imposed velocity. Finally, as demonstrated by Federolf et al. (7), the friction coefficient is a force that needs to be overcome by the skater to advance: $F_{\text{ICE}} = \mu \cdot m \cdot g$. Because this force is dependent on the BM, it supports its use in the calculation of skating efficiency. Through preliminary tests, it was found that the number of strides performed during stage 4 ($4.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) shows the highest correlation with energy expenditure and displays the lowest SEE. It was therefore determined that the number of skating strides for SSI should be counted during stage 4.

Oxygen uptake measurement: The oxygen consumption was assessed using the Cosmed K4b² breath-by-breath portable metabolic analyzer system (Cosmed, Rome, Italy). Previous studies have shown that the Cosmed K4b² is a valid and reliable system to assess oxygen uptake from rest to maximum exercise intensities (6, 11, 23, 26). The portable metabolic system was attached to the players in complete hockey gear (except helmet). The data were collected and recorded by telemetry. The software program provided by the manufacturer was used to calculate $\dot{V}\text{O}_2$ values. The metabolic system calibration was performed before each test using ambient air (20.93% O₂ and 0.03%

CO₂) and a calibration gas having 17.00% O₂ and 5.03% CO₂. The air flow at the mouth turbine for minute ventilation measurement was calibrated with a 3-L syringe.

4.1.4 Statistical Analyses

All measured variables (age, BM, BMI, number of stages, maximal speed, HR_{max}, $\dot{V}O_{2max}$, number of strides at stage 4 and SSI at stage 4) were reported as mean \pm SD. The regression equations were calculated using linear regression procedure. SEE and correlation coefficients were also computed. Comparison of slopes was conducted using paired or unpaired t-test, according on the tested variables. Values of $p \leq 0.05$ were established as significant. Statistical analyses were performed using SPSS v24.0.

4.1.5 Results

The anthropometric and physiological profiles of the players are presented in Table 4.1.

Validity

Based on the analysis of the measurements of oxygen consumption using the portable breath-by-breath metabolic analyzer from submaximal to maximal velocities, the results indicate that the SMAT is strongly accurate to estimate the $\dot{V}O_2$ (Figure 4.1). This finding is in agreement with the results previously reported by Leone et al. (19). The regression equation extracted from current data shows the following relationship between $\dot{V}O_2$ and velocity ($r = 0.94$ and $SEE = 2.19 \text{ ml O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$):

$$\dot{V}O_2 = 14.62 \times \text{velocity} - 18.48 \quad (\text{SEslope} = 0.41) \quad (2)$$

Table 4.2 presents the predicted $\dot{V}O_{2max}$ values for the first 15 stages along with corresponding skating velocities.

The validity of the test was examined by extracting a second regression equation using only the values of $\dot{V}O_2$ obtained during the highest velocity achieved by the players ($r = 0.704$, $SEE = 2.81 \text{ ml O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$):

$$\dot{V}O_{2\text{max}} = 12.43 \times \text{velocity} - 8.94 \quad (\text{SEslope} = 2.56) \quad (3)$$

Based on equation 4, results show that the slopes of equation 2 and 3 are not statistically different ($t = 0.845$; $p = 0.406$) which suggests that the SMAT displays external validity.

$$t = \frac{|\text{Slope}_1 - \text{Slope}_2|}{\sqrt{SE_{\text{Slope}_1}^2 + SE_{\text{Slope}_2}^2}} \quad (4)$$

Although both equations provide similar results, equation 1 is preferred due to the fact that it considers the entire range of values rather than only $\dot{V}O_{2\text{max}}$. Thus, this equation also makes it possible to estimate submaximal values, which, for instance, can be useful for training purposes. In addition, the equation has a higher correlation coefficient and a lower SEE (Figure 4.2).

Comparison between 2007 and 2017 equations

To determine whether there were differences between the results obtained in this research and the original paper (18) (Leone et al. 2007), the slopes from both regression equations (equations 1 and 4) were compared.

$$\dot{V}O_{2-2007} = 18.07 \times \text{velocity} - 35.60 \quad (\text{SEslope}=0.69) \quad (5)$$

Slope of equation 5 was found different from equation 3 ($t = 4.320$; $p = 0.000$), suggesting that the 2 equations were not equivalent.

Skating stride index (SSI)

To account for skating economy, the following regression equation was extracted using both maximal velocity and SSI.

$$\dot{V}O_2 = (14.94 \times \text{velocity}) + (3.68 \times \text{SSI}) - 24.98 \quad (6)$$

The inclusion of the SSI improved the correlation coefficient from 0.94 to 0.95 and reduced the SEE from 2.19 to 1.92. The effect of adding SSI to the maximal skating velocity over the whole range of observed values of SSI at stage 4 could affect the predicted $\dot{V}O_{2\text{max}}$ by $\pm 2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ for the players of this study (Figure 4.4).

The impact of skating economy can be seen in Figure 4.5, which shows the average values as function of maximal velocity. The graph illustrates an inversely proportional relationship between the 2 variables, which suggests that participants with lower SSI generally reach a higher maximal velocity during the test.

4.1.6 Discussion

Comparison between regression equations obtained in 2007 and 2017 reveals that the slopes are significantly different. This disparity highlights the importance of updating the results obtained in the original article (19). The different results obtained in the 2 studies can mostly be attributed to 2 factors. The first contributing element is the change in technology. Indeed, the use of a breath-by-breath metabolic analyzer allows for continuous measurements from submaximal to maximal stages of the test for the same individual. The procedure using the retroextrapolation method is complicated and not at all convenient. Due to this restriction, the number of data points obtained in 2007 was limited ($n = 45$) compared with the ones obtained in 2017 ($n = 172$), with a similar number of participants. The higher number of data points obtained in 2017 translates

into a higher number of $\dot{V}O_2$ values per stage, and allows for a more representative regression equation for both submaximal and maximal values.

Another factor that can contribute to the difference in regression equation slopes is the variation in skating economy. Although both studies recruited participants of the same age belonging to elite categories, hockey players from Quebec are typically more skilled than their French counterparts. In fact, Figure 4.3 shows that $\dot{V}O_2$ values from each cohort are generally clustered together and that hockey players from Quebec display $\dot{V}O_2$ values that are typically lower than the ones from France for any given submaximal velocity up to $4.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. The fact that the French players have higher oxygen uptake for submaximal velocities suggests that players from Quebec are more efficient skaters. At velocities higher than $4.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, the differences of $\dot{V}O_2$ values between cohorts are reduced possibly because only the most economical French skaters are still part of the test.

When considering all hockey players from the 2007 and the 2017 cohorts, it can be shown that the difference between the highest and the lowest values of $\dot{V}O_2$ for a given stage is about $10 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Even when considering homogeneous groups by taking 2007 and 2017 separately, the difference in $\dot{V}O_2$ is still around $5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, which is not negligible. In submaximal stages, this large discrepancy between $\dot{V}O_2$ values is likely attributed to difference in skating economy, which has also been suggested by Marino (21). This can be seen in Figure 4.4, which shows that an increase in SSI leads to an increase in oxygen uptake for a given velocity. This is important as, typically, field tests assign the same predicted $\dot{V}O_2$ value to every individual who reaches the same maximal velocity. In ice hockey, as well as in other sports requiring a high level of technical skills such as swimming (12,13), this assumption does not seem to be true. Thus, using a skating economy index, such as SSI, can help improve prediction results.

In this investigation, it was found that introducing SSI not only improved the correlation coefficient but particularly reduced the SEE by as much as 10.5%.

Table 4.3, which was tabulated using equation 6, contains a quick reference that helps determine the $\dot{V}O_2$ using the maximal velocity and the SSI. To describe its usage, consider 2 hockey players from our database who have the highest and the lowest SSI values (1.74 and 0.89, respectively). The predicted $\dot{V}O_2$ based on the SSI values for these players reaching stage 7 ($4.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) would be 51.5 and 48.6 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, respectively, which corresponds to a difference of ~ 1 metabolic equivalent of task. This example illustrates the importance of considering skating economy in such field tests especially because the differences could be even larger within a more heterogeneous group.

4.1.7 Practical Applications

After validation, the SMAT still remains a valid and reliable tool to predict $\dot{V}O_{2\text{max}}$ in elite age-group hockey players. The inclusion of a skating economy index is suggested because the relationship between $\dot{V}O_{2\text{max}}$ and velocity is improved and the SEE is reduced. To make the use of SSI more convenient, the current study shows that the skating stride count does not need to be performed during the entire test but can be limited to stage 4 ($4.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). The use of SSI, although not mandatory, allows for an improvement in the prediction on $\dot{V}O_{2\text{max}}$ by reducing the SEE by over 10%. From a practical standpoint, even the SSI in itself provides an interesting measurement of skating performance. The use of the SSI can help trainers determine whether the cardiovascular and/or technical skating skills need to be improved in priority. In future research, this concept can also be developed to include an index of movement efficiency in other sports that require a high level of technical skills.

Acknowledgments

The authors thank the players and coaches who participated in this study. This work was supported by the “Region Nord-Pas de Calais,” through the program ARCIR Physical Activity and Children Health. In addition, the authors also thank Hockey Québec, and more specifically, Mr. Yves Archambault, for partially funding this study.

4.1.8 References

1. Ainegren, M, Carlsson, P, Tinnsten, M, and Laaksonen, MS. Skiing economy and efficiency in recreational and elite cross-country skiers. *J Strength Cond Res* 27: 1239–1252, 2013.
2. Bassett, DR Jr and Howley, ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc* 32: 70–84, 2000.
3. 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. *J Strength Cond Res* 22: 1535–1543, 2008.
4. Coyle, EF, Coggan, AR, Hopper, MK, and Walters, TJ. Determinants of endurance in well-trained cyclists. *J Appl Physiol* 64: 2622–2630, 1988.
5. Craig, AB and Pendergast, DR. Relationship of stroke rate distance per stroke and velocity in competitive swimmers. *Med Sci Sports* 11: 278–283, 1979.
6. Doyon, HK, Perrey, S, Abe, D, and Hughson, RL. Field testing of $\dot{V}O_2$ peak in cross-country skiers with portable breath-by-breath system. *Can J Appl Physiol* 26: 1–11, 2001.
7. Federolf, PA, Mills, R, and Nigg, B. Ice friction of flared ice hockey skate blades. *J Sports Sci* 26: 1201–1208, 2008.
8. Folland, JP, Allen, SJ, Black, MI, Handsaker, JC, and Forrester, SE. Running technique is an important component of running economy and performance. *Med Sci Sports Exerc* 49: 1412–1423, 2017.
9. Geijsel, J, Bomhoff, G, van Velzen, J, de Groot, G, and van Ingen Schenau, GJ. Bicycle ergometry and speed skating performance. *Int J Sports Med* 5: 241–245, 1984.
10. Haug, RC, Porcari, JP, Brice, G, and Terry, L. Development of a maximal testing protocol for the NordicTrack cross-country ski simulator. *Med Sci Sports Exerc* 31: 619–623, 1999.

11. Hausswirth, C, Bigard, AX, and Le Chevalier, JM. The Cosmed K4 telemetry system as an accurate device for oxygen uptake measurements during exercise. *Int J Sports Med* 18: 449–453, 1997.
12. Lavoie, JM, Léger, LA, Leone, M, and Provencher, PJ. A maximal multistage swim test to determine the functional and maximal aerobic power of competitive swimmers. *J Swimming Res* 1: 17–22, 1985.
13. Lavoie, JM, Leone, M, and Bongbélé, J. Functional maximal aerobic power and prediction of swimming performance. *J Swimming Res* 4: 17–19, 1988.
14. Léger, LA, Seliger, V, and Brassard, L. Backward extrapolation of $\dot{V}O_2$ max values from O_2 recovery curve. *Med Sci Sports Exerc* 12: 24–27, 1980.
15. Léger, LA, Montpetit, RR, Lambert, J, and Chartrand, D. Retroextrapolation of submaximal values from O_2 recovery curve. *Scan J Sports Sci* 4: 71–73, 1982.
16. Léger, LA and Lambert, J. À maximal multistage 20-m shuttle run test to predict $\dot{V}O_2$ max. *Eur J Appl Physiol* 49: 1–12, 1982. (Léger et Lambert, 1982)
17. Léger, LA, Mercier, D, Gadoury, C, and Lambert, J. The multistage 20 meter shuttle run test for aerobic fitness. *J Sports Sci* 6: 93–101, 1988.
18. Léger, L. Aerobic performance. In: *Measurement in Pediatric Exercise Science*. D Docherty, ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996. pp. 183–224.
19. Leone, M, Léger, LA, Larivière, G, and Comtois, AS. An on-ice aerobic maximal multistage shuttle skate test for elite adolescent hockey players. *Int J Sports Med* 28: 823–828, 2007.
20. Losnegard, T, Schäfer, D, and Hallén, J. Exercise economy in skiing and running. *Front Physiol* 5: 1–6, 2014.
21. Marino, GW. Analysis of selected factors in the ice skating strides of adolescents. *CAPHER J* 50: 4–8, 1984.
22. Marion, GA and Léger, LA. Energetics of indoor track cycling in trained competitors. *Int J Sports Med* 9: 234–239, 1988.

23. McLaughlin, JE, King, GA, Howley, ET, Bassett, DR Jr, and Ainsworth, BE. Validation of the Cosmed K4b² portable metabolic system. *Int J Sports Med* 22: 280–284, 2001.
24. Michael, JS, Rooney, KB, and Smith, R. The metabolic demand of kayaking: A review. *J Sports Sci Med* 7: 1–7, 2008.
25. Montgomery, DL. Physiology of ice hockey. *Sports Med* 5: 99–126, 1988.
26. Pinnington, HC, Wong, P, Tay, J, Green, D, and Dawson, B. The level of accuracy and agreement in measures of FEO₂, FECO₂ and VE between the Cosmed K4b² portable respiratory gas analysis system and metabolic cart. *J Sci Med Sport* 4: 324–335, 2001.
27. Seliger, V, Kostka, V, Grusova, D, Kovac, J, Machovcova, J, Pauer, M, Pribylova, A, and Urbankova, R. Energy expenditure and physical fitness of ice-hockey players. *Int Z Angew Physiol* 30: 283–291, 1972.
28. Shaharudin, S and Agrawal, S. Muscle synergies during incremental rowing $\dot{V}O_2$ max test of collegiate rowers and untrained subjects. *J Sports Med Phys Fit* 56: 980–989, 2016.
29. Tanaka, H, Bassett, DR Jr, Swensen, TC, and Sampedro, RM. Aerobic and anaerobic power characteristics of competitive cyclists in the United States Cycling Federation. *Int J Sports Med* 14: 334– 338, 1993.

Figure Legends

Figure 4.1. Relationship between the oxygen uptake and the skating velocity for male elite hockey players without SSI.

Figure 4.2. Comparison of regression curves obtained with either the maximal oxygen uptake values at end of test (maximal velocity) for each individual player tested (n=26) or with oxygen uptake values obtained at each velocity (n=172).

Figure 4.3. Comparison of $\dot{V}O_2$ values obtained during the SMAT between 2007 and 2017

Figure 4.4. Relationship between the oxygen uptake, the skating velocity and the skating stride index (SSI) for male elite hockey players

Figure 4.5. SSI as a function of the maximal velocity achieved

Figure 4.1. Relationship between the oxygen uptake and the skating velocity for male elite hockey players without SSI (Skating Stride Index).

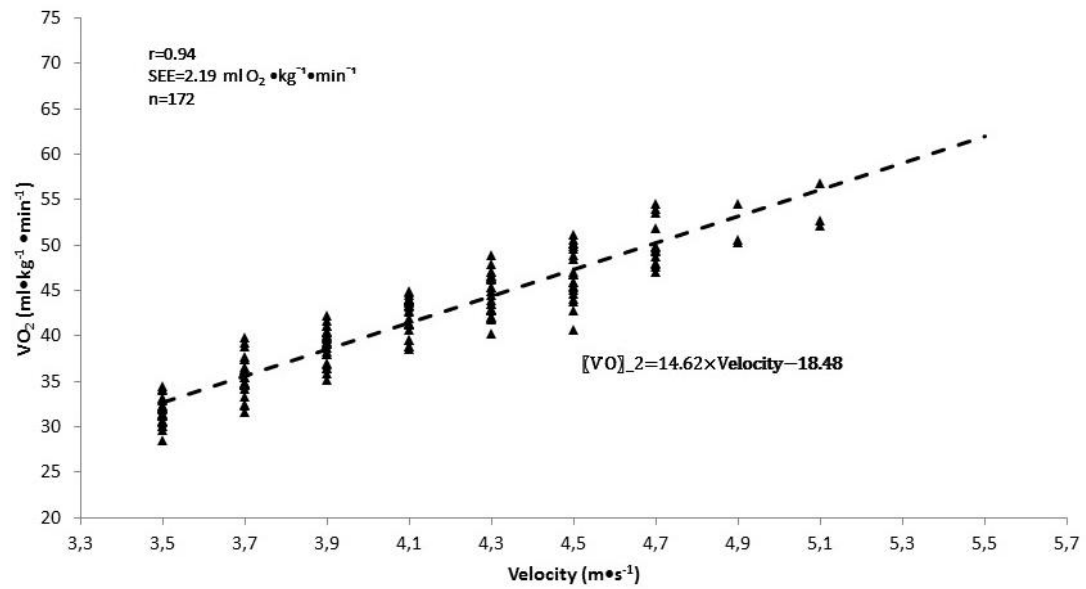


Figure 4.2. Comparison of regression curves obtained with either the maximal oxygen uptake values at end of test (maximal velocity) for each individual player tested (n=26) or with oxygen uptake values obtained at each velocity (n=172).

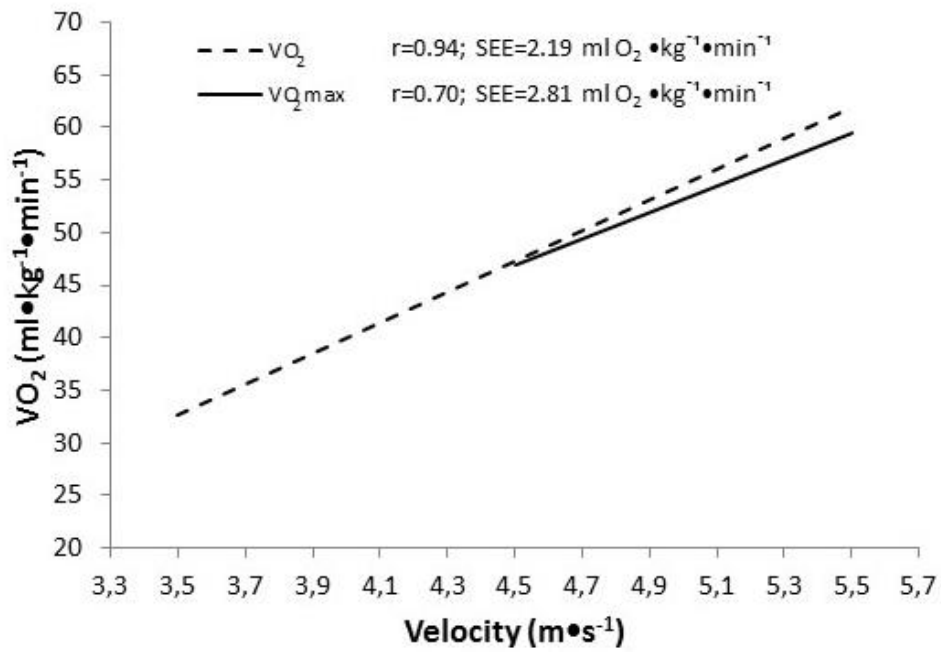


Figure 4.3. Comparison of $\dot{V}O_2$ values obtained during the SMAT between 2007 and 2017. SMAT = skating multistage aerobic test.

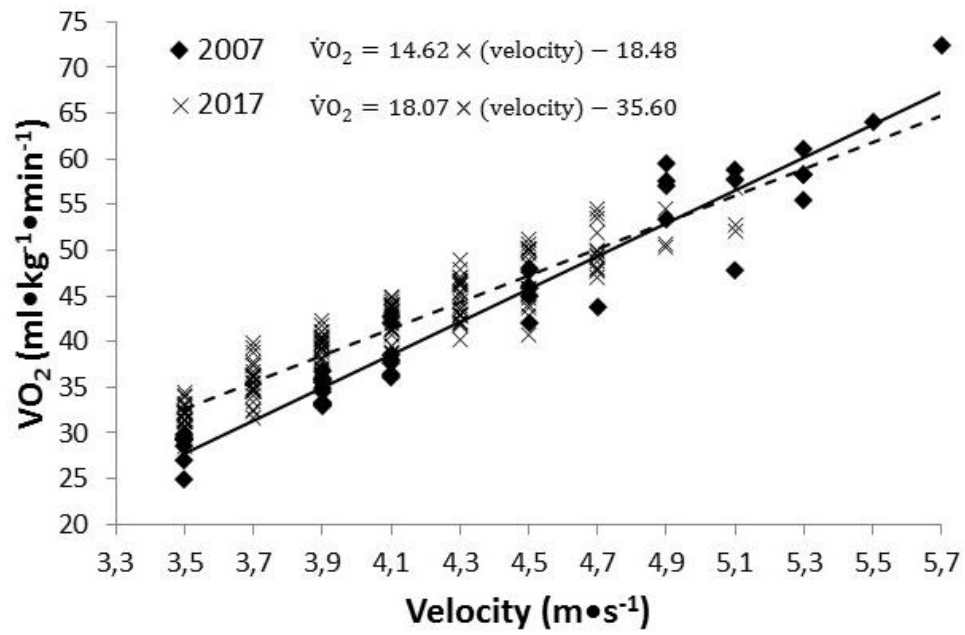


Figure 4.4. Relationship between the oxygen uptake, the skating velocity and the skating stride index (SSI) for male elite hockey players.

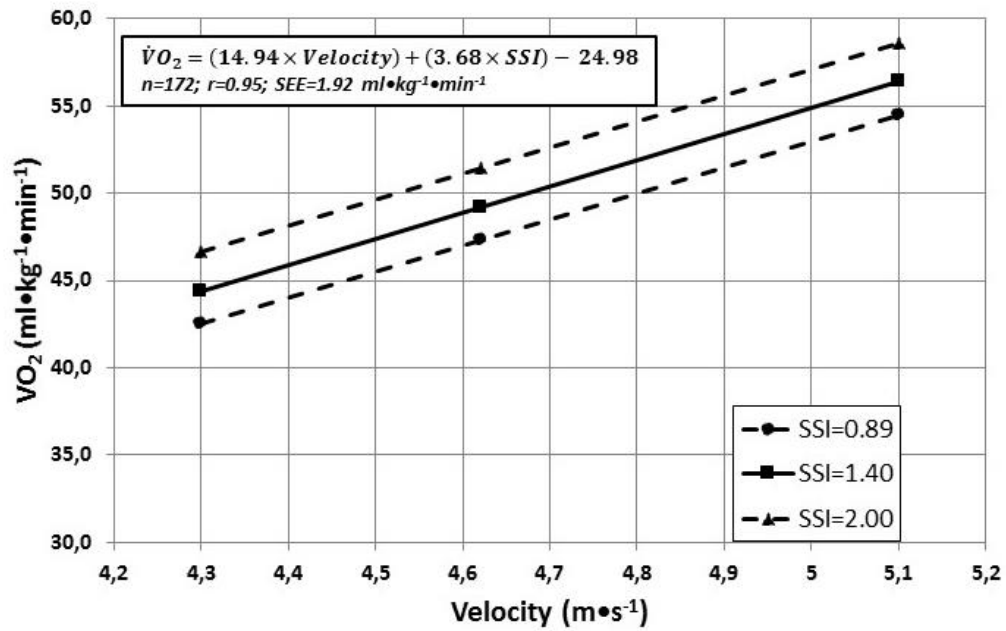


Figure 4.5. Skating stride index (SSI) as a function of the maximal velocity achieved.

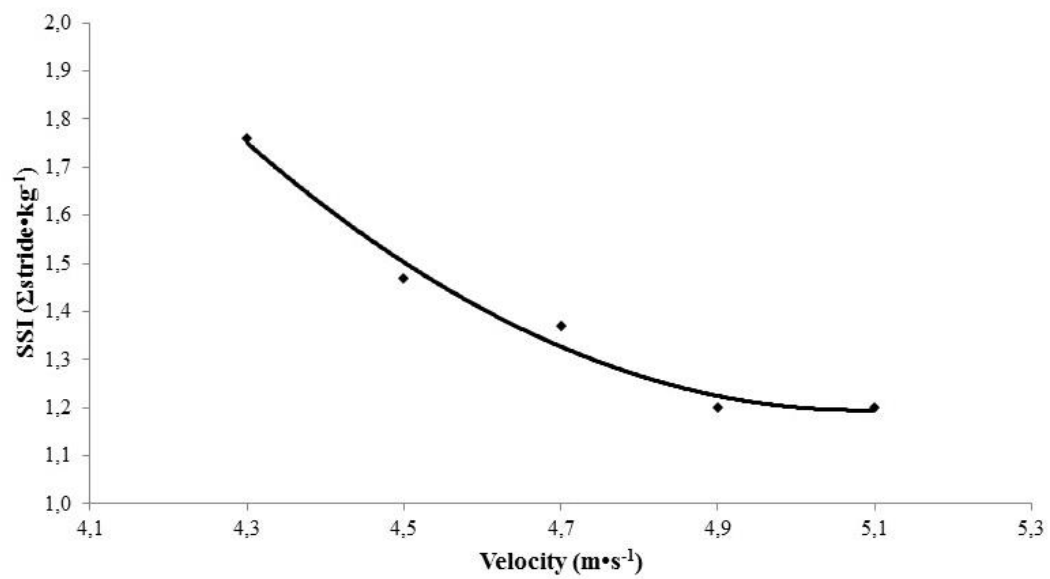


Table 4.1. Descriptive characteristics of the players for the variables assessed. * mean \pm SD

Variables	N	Mean	SD	Min	Max
Age (Years)	26	15.8	1.3	12.9	17.0
BM (kg)	26	63.7	11.4	46.3	93.0
Height (cm)	26	172.0	9.0	154.0	186.0
BMI (kg·m ⁻²)	26	21.4	2.2	16.2	27.8
Stage max (#)	26	6.6	1.1	5.0	9.0
Velocity max (m·s ⁻¹)	26	4.6	0.2	4.3	5.1
HRmax (beat·min ⁻¹)	26	196.9	8.0	182.0	209.0
$\dot{V}O_2$ max (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	26	48.5	3.9	40.7	56.9
# strides stage 4 (#)	26	88.2	7.8	72.0	100.0
SSI stage 4 (#stride·kg ⁻¹)	26	1.43	0,30	0.89	2.00

*N = number of players; min = minimum value; max = maximum value; BM = body mass; BMI = body mass index; # = number; HR = heart rate; SSI = skating stride index.

Table 4.2. The on-ice intermittent maximal multistage shuttle skate test for the prediction of the maximal oxygen uptake for male elite hockey without SSI.*

Stage (no)	$\dot{V}O_2\text{max}^\dagger$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	Time (min)	Velocity‡ (m·s ⁻¹)	Velocity§(km·h ⁻¹)
1	32.7	1.5	3.5	12.6
2	35.6	3.0	3.7	13.3
3	38.5	4.5	3.9	14.0
4	41.5	6.0	4.1	14.8
5	44.4	7.5	4.3	15.5
6	47.3	9.0	4.5	16.2
7	50.2	10.5	4.7	16.9
8	53.2	12.0	4.9	17.6
9	56.1	13.5	5.1	18.4
10	59.0	15.0	5.3	19.1
11	61.9	16.5	5.5	19.8
12	64.9	18.0	5.7	20.5
13	67.8	19.5	5.9	21.2
14	70.7	21.0	6.1	22.0
15	73.6	22.5	6.3	22.7

*SSI = skating stride index.

† Based on the following regression equation: $\dot{V}O_2 = 14.62 \times (\text{velocity}) - 18.48$.

$r = 0.94$; $SEE = 2.19 \text{ ml} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

‡ Velocity in meter by second.

§ Velocity in kilometer by hour.

Table 4.3. The on-ice intermittent maximal multistage shuttle skate test for the prediction of the maximal oxygen uptake for male elite hockey with SSI.*†

Speed	SSI											
	0.50	0.70	0.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70
3.5 m·s ⁻¹	29.2	29.9	30.6	31.4	32.1	32.8	33.6	34.3	35.0	35.8	36.5	37.2
3.7 m·s ⁻¹	32.1	32.9	33.6	34.3	35.1	35.8	36.6	37.3	38.0	38.8	39.5	40.2
3.9 m·s ⁻¹	35.1	35.9	36.6	37.3	38.1	38.8	39.5	40.3	41.0	41.8	42.5	43.2
4.1 m·s ⁻¹	38.1	38.9	39.6	40.3	41.1	41.8	42.5	43.3	44.0	44.7	45.5	46.2
4.3 m·s ⁻¹	41.1	41.8	42.6	43.3	44.0	44.8	45.5	46.3	47.0	47.7	48.5	49.2
4.5 m·s ⁻¹	44.1	44.8	45.6	46.3	47.0	47.8	48.5	49.2	50.0	50.7	51.5	52.2
4.7 m·s ⁻¹	47.1	47.8	48.6	49.3	50.0	50.8	51.5	52.2	53.0	53.7	54.4	55.2
4.9 m·s ⁻¹	50.1	50.8	51.5	52.3	53.0	53.7	54.5	55.2	56.0	56.7	57.4	58.2
5.1 m·s ⁻¹	53.1	53.8	54.5	55.3	56.0	56.7	57.5	58.2	58.9	59.7	60.4	61.2
5.3 m·s ⁻¹	56.0	56.8	57.5	58.3	59.0	59.7	60.5	61.2	61.9	62.7	63.4	64.1
5.5 m·s ⁻¹	59.0	59.8	60.5	61.2	62.0	62.7	63.4	64.2	64.9	65.7	66.4	67.1
5.7 m·s ⁻¹	62.0	62.8	63.5	64.2	65.0	65.7	66.4	67.2	67.9	68.6	69.4	70.1
5.9 m·s ⁻¹	65.0	65.7	66.5	67.2	68.0	68.7	69.4	70.2	70.9	71.6	72.4	73.1
6.1 m·s ⁻¹	68.0	68.7	69.5	70.2	70.9	71.7	72.4	73.1	73.9	74.6	75.4	76.1
6.3 m·s ⁻¹	71.0	71.7	72.5	73.2	73.9	74.7	75.4	76.1	76.9	77.6	78.3	79.1

*SSI = skating stride index.

†Regression equation: $\dot{V}O_2$ (ml·kg⁻¹·min⁻¹) = (14.94 x velocity) + (3.68 x SSI) – 24.98;

SSI = (# skating strides at stage 4)·BM⁻¹.

CHAPITRE V

ARTICLE III

5.1 Assessment of on-ice oxygen cost of skating performance in elite youth ice hockey players

Article publié dans la revue scientifique: Journal of Strength and Conditioning Research, 2019 décembre 4. doi: 10.1519/JSC.0000000000003324. [Epub ahead of print]

Maxime Allisse¹, Hung Tien Bui², Patrick Desjardins¹, Luc Léger³, Alain-Steve Comtois⁴, Mario Leone¹

¹Department of Health Sciences, University of Québec in Chicoutimi, Saguenay (QC), Canada.

²Department of Medicine, Sherbrooke University, Sherbrooke (QC), Canada.

³Department of Kinesiology, University of Montréal, Montréal (QC), Canada.

⁴Department of Exercise Sciences, University of Québec in Montréal, Montréal (QC), Canada.

5.1.1 Abstract

The purpose of this study was to evaluate the robustness of equations to predict the oxygen requirement during different skating circumstances commonly found in ice hockey game situations (skating forward, backward, with and without controlling a puck, during cornering and stops and starts). Twenty-four male elite ice hockey players from three categories (pee-wee, bantam and midget) participated in this study. Anthropometric measurements were taken and four different on-ice high-intensity and short duration tests were performed. Execution time, heart rate, oxygen uptake, skating strides and a skating efficiency index (SEI) were measured for each of the tests. A regression equation was calculated for each of the four tests providing an estimation of oxygen cost. Correlation coefficients ranged from 0.91 to 0.93 and standard error of estimate was between 4.5% and 8.4% indicating that the precision of the regression algorithms were excellent. The results also suggest that execution time alone, which is the traditional manner to measure skating performance, is an inappropriate estimator of oxygen uptake requirement for this kind of effort. Furthermore, age proved to be a determining factor with younger players showing an overall lower level of skating efficiency compared to older players. In addition, the introduction of a skating index also helps to better determine which factor of performance needs to be improved. Using simple and easy-to-measure variables, coaches will be able to obtain information that will allow them to intervene more precisely on the training parameters that will optimize the individual on-ice performance of their players.

Keywords: skating strides; oxygen consumption; bioenergetics; skating efficiency index.

5.1.2 Introduction

Over the last few decades, several studies have been conducted to describe the physiological requirements of ice hockey players (11, 17, 23, 30-32). Traditionally, the assessment of the physiological requirements of hockey players was done through a variety of off-ice tests (8, 13, 30, 37). Although this type of procedure may be of some interest, the results often seem difficult to transfer onto the ice. In fact, several studies report a weak link between physiological variables measured off-ice and on-ice performance (2, 30, 31, 40). In order to respect the principle of specificity, efforts have mainly been directed towards the development of specific on-ice tests that can accurately assess the efficiency of the aerobic and/or anaerobic energy pathways (7, 24, 34-36).

Although these physiological attributes are important, the key element of ice hockey remains skating skills (6, 14, 27). During an on-ice shift, players must perform different maneuvers during a period of time that varies between 30 to 45 seconds. During this time, players are expected to actively move for different durations at various intensities (29, 30). The most frequent skating tasks are stops and starts, cornering, changes of direction and accelerations. In addition, players must be able to skate while controlling a puck and be proficient at backward skating.

In recent years, most of the effort that has been made to better understand the characteristics of the various skating tasks has focused on technical and/or biomechanical analyses. However, most of these procedures require expensive equipment such as EMG system, high-speed cameras and accelerometers which require a long period of testing (3, 16, 38, 39).

During this time, there has also been development of several simple testing procedures whose main element of evaluation is the time required to accomplish a particular

skating task (2, 20, 21, 35). For example, Larivière and colleagues (21) suggest measuring the time required to cross a distance of 18.5 meters in forward skating from a stopped start. The result indicates that the faster the player is, the higher the skating power developed will be. While this information is relevant, its physiological importance remains limited. The time taken to travel a certain distance does not adequately reflect the skating performance in relation to metabolic processes. Indeed, the fastest player is not necessarily the one who will generate the highest oxygen cost. Certain anthropometric and/or physical components such as individual joint stiffness, muscles and tendons elastic energy and moment arm movements for example, can influence oxygen consumption, which also has an impact on skating efficiency. This is especially true for short (5-6 seconds) or medium duration (20-30 seconds) events. Indeed, in the context of activities that make a significant contribution to aerobic processes, the linear velocity/oxygen uptake relationship has been well-established (19, 26, 28). However, in activities of very high intensity and short duration, such as ice hockey, this relationship is no longer valid. In addition, very little information is known about the bioenergetic dynamics that quantifies the different skating conditions found in game-like practice situation.

Thus, the purpose of this study is to present new equations that estimate the oxygen cost during different hockey skating skills commonly found in game situations (skating forward, backward, with and without controlling a puck, during cornering, and changes of direction). As an intermediate objective of this study, a comparison of the different variables measured is presented according to the age of the players. This additional information will enable coaches to establish better the player's fitness profile, to design better training program, to assess player's development, and to measure more accurately on-ice performance.

5.1.3 Methods

Experimental Approach to the Problem

Subjects

A total of twenty-four (24) male elite ice hockey players participated in this study. All participants came from a special sport-study program that recruits among the best Pee-wee (11-12 years old; N=11), Bantam (13-14 years old; N=8) and Midget (15-16 years old; N=5) players from the Saguenay area (Québec, Canada). All the skating tests were conducted on a regular Canadian ice rink (61 m long x 26 m wide with corner radius of 8.5 m) after the preseason training camp (end of September). Although the players came from different hockey teams, they trained together every day during the school year.

In order to determine the impact of age on skating performance, the group of players was split into 2 subgroups rather than 3 (pee-wee, bantam and midget). This procedure was necessary in order to be able to measure the impact of age while maintaining sufficient statistical power to carry out the analyses. Thus, the 12 youngest players formed the first group (11 of the 12 players were pee-wee) and the remaining 12 players, the second group composed mainly of bantam and midget players.

Prior to the beginning of the study, each participant and their parents had signed an informed consent form since it was required from the hockey direction board for the student/player to be authorized to participate in the hockey program. The project was approved by the Institutional Ethical Committee Board (no: 602.391.01).

Anthropometric measures

All anthropometric variables (weight, height and BMI) were measured using standardized procedures (25). Anthropometric measurements were performed at the very beginning of the study (first two days), always in the morning (between 9h and 10h) in order to control the effect of time of the day. Body mass (BM) was noted to the nearest 0.1 kg using a Detecto weighing scale (Missouri, USA). Body height (BH) was assessed using a Lafayette stadiometer (Louisiana, USA) with a precision of 0.1 cm. Measurements of body composition (% fat) were performed by bioelectrical impedance (Tanita, model TBF-300A, Illinois, USA). In order to have some control over the hydration mass rate, each evaluation was done at the same time (in the evening around 11h), outside the training sessions. Participants also had to respect the following instructions: not to eat and/or drink 3 hours before the test; not to drink coffee and/or alcohol 12 hours prior to the test; not to perform excessive exercise 24 hours before the test; empty the bladder 30 minutes before the test. Finally, the body mass index (BMI) was calculated using the following formula: $BM \cdot BH^{-2}$ where BM represents body mass (kg) and BH the body height (m).

Skating protocols

The skating protocols were administered in agreement with the procedures suggested by Larivière and colleagues (21). In their work, the authors demonstrated that the four tests selected for this study are known to be valid while showing test-retest reliability of $r = 0.85, 0.93, 0.94$ and 0.90 for forward skating, backward skating, skating agility with puck and skating agility without puck respectively. These procedures are still in use as shown by a recent study by Allisse et al., (2). For each of the four on-ice tests, all players had to wear their complete hockey gear. Assessment sessions were held in the morning over two consecutive days to allow for a rest period between on-ice sessions. For on-ice testing, players were allowed to have a breakfast 90 minutes before the start of the session.

Forward and backward skating tests

The first two tests that measure the maximum linear skating velocity took place over a distance of 30.5 m. For the forward skating test, players took place at the starting line with their skates parallel and pointed forward. For the backward skating test, players had to take the same position but with their back facing the direction of travel (Figure 5.1). The goal of the two tests consisted of skating as fast as possible in a straight line over the total distance.

(FIGURE 5.1 AROUND HERE).

Skating agility without and with puck

These two tests measure the player's ability to skate and make stops and starts, changes of direction and sharp turns as quickly as possible, with or without puck. For these two tests, the following step-by-step protocol was used: A) the player started by skating as fast as possible in a straight line, B) made an abrupt stop and went back to the starting line, C) without stopping, the player had to skate through tight turns around a series of 4 cones, D) immediately repeated a second set of slalom, E) skated again in a straight line, made a second abrupt stop, F) and completed the course at the finish line for a total distance of 110.0 m (6 x 18.3 m). The same procedure was followed with and without puck (Figure 5.2).

(FIGURE 5.2 AROUND HERE)

Bioenergetic assessment

The oxygen uptake was assessed using a breath-by-breath portable metabolic analyzer system (Cosmed K4_b², Rome, Italy), which has been shown to be a valid and reliable

device (12, 33). In fact, portable metabolic analyzers are now routinely used to assess physiological requirements in field situations in many team sports such as soccer, handball, basketball, volleyball, etc. (5, 9, 18). The use of this type of device has been also successfully utilized in studies that aimed to measure some bioenergetic variables during ice hockey skating assessments (2, 4). This system was attached to the players wearing their complete hockey equipment. The data were recorded by telemetry. Oxygen uptake values were calculated using the software program provided by the manufacturer (Cosmed Ver 10A, Rome Italy). The metabolic system calibration was carried out before each test using ambient air (20.93% O₂ and 0.03% CO₂) and a calibration gas having 17.00% O₂ and 5.03% CO₂. The air flow at the mouth turbine for minute ventilation measurement was calibrated with a 3-L syringe. Due to the nature of the required effort (mostly anaerobic metabolism), the oxygen consumption was recorded while the player is standing still until it reached its peak value, even when the exercise was finished. Preliminary tests showed that peak values for oxygen uptake were generally reached around the 30th second after the end of the exercise for forward and backward skating and around the 10th second for skating agility with and without a puck (Figure 5.3). (FIGURE 5.3 AROUND HERE)

Heart rate measurement

Heart rate (HR) was measured by telemetry using the T-31 400 Polar heart rate belt (Polar, Kempele, Finland). All players wore the same Polar belt for each on-ice test. As for the oxygen uptake, the HR was measured continuously until it reached its peak value.

Measure of time

The time for each on-ice event was measured using photocells (Brower timing system, model CM15 MEM, Utah, USA). The time was recorded to the nearest 0.01 second. The setup for each test can be seen in Figures 5.1 and 5.2.

Wide-angle camera

A wide-angle camera was used to film all the players during the execution of the various on-ice tests (Gopro Hero 3, San Mateo, USA). This camera was able to film at a rate of 120 frames/s⁻¹ and image-processing was performed using the Kinovea 0.8.15 software. For this study, the camera was mainly used to review individual's times in case of photocells failures and to count the number of skating strides during the various events.

Skating efficiency index (SEI)

In order to create a user-friendly skating efficiency index (SEI), the number of skating strides was divided by the skating speed for each of the 4 tests (strides·m⁻¹·s⁻¹). A similar approach has already been successfully proposed in swimming (22), and more recently in ice hockey during an aerobic multistage procedure (1) and seems to be an effective way to get a global indicator of mechanical efficiency.

5.1.4 Statistical analysis

All values are reported as mean ± standard deviation (SD). The Shapiro-Wilk test for normality assumptions was compiled for each variable. Confidence intervals (CI) were set at the level of 95%. The Cohen d effect sizes were compiled and then interpreted using the following scale: <0.19 trivial; 0.20-0.49 small; 0.50-0.79 medium; >0.79 large (10). The multiple regression equations were calculated using standard linear regression procedure. Standard error of estimate (SEE) and correlation coefficients

were also computed. Pearson correlation coefficients were calculated in order to assess the relationship between the main on-ice performance variables. Comparisons between the different testing modalities (i.e. forward vs backward skating and agility with vs without puck) and the two age-groups (younger vs older players), unpaired t-test analysis were conducted. The power calculation was set for a β at 0.85 with an α of 0.05 and an effect size of 0.5 using the software Gpower version 3.1.9.2. Values of $p \leq 0.05$ were established as significant. Statistical analyses were performed using SPSS v24.0.

5.1.5 Results

Anthropometric and skating performance measures

Anthropometric measurements and on-ice performance tests are presented in Table 5.1. Since all players were not able to complete the four on-ice tests, values are presented separately for each test. (TABLE 5.1 AROUND HERE)

As expected, given the difference in technique for forward and backward skating, the time required to cover 30.5 m was significantly shorter ($t=10.637$; $p=0.000$) in forward skating. The same explanation applies for the number of skating strides that was significantly higher in backward skating ($t=7.543$; $p=0.000$). SEI values were significantly different between these two skating techniques ($t=9.535$; $p=0.000$). Finally, the peak HR was significantly higher at the end of the forward skating test ($t=2.144$; $p=0.039$).

Unlike the previous comparison between forward and backward skating, there seems to be little difference between skating agility tests performed with and without puck. A significant difference was found for the time required to cover the entire distance ($t=2.562$; $p=0.016$). The need to control a puck during the execution of the course

considerably slowed the players. Also, SEI values indicate a significant degradation in the skating efficiency ($t=2.801$; $p=0.009$) during the skating agility test with puck.

Table 5.2 shows the anthropometric and skating performance comparisons between younger versus older players. In general, younger players had lower scores on most variables measured on the four on-ice tests. From a bioenergetic perspective, the oxygen cost expressed in $L \cdot \text{min}^{-1}$ shows significant differences on the four on-ice tests however, when expressed $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, these differences disappear. Finally, effect sizes generally vary from medium to large (i.e. ≥ 0.50), indicating the important difference between age groups and illustrating the relevance of the variables measured. (TABLE 5.2 AROUND HERE)

Tables 5.3 (forward and backward skating) and 5.4 (agility with and without the puck) show the correlation coefficients between the variables that were used to develop the prediction equations of the 4 on-ice tests. For all tests, variables used to obtain the best linear regression and the smallest SEE were: age, body mass, peak HR, number of skate strides and SEI. (TABLE 5.3 AND 5.4 AROUND HERE)

Age was significantly correlated with BM, time and SEI for the 4 tests ($p<0.05$) except for time in the forward skating and for SEI in the backward skating. BM was correlated with HR and $\dot{V}O_2$ ($p<0.05$) only in the forward skating test. Time and strides were significantly correlated with SEI in the four skating conditions ($p<0.05$). Time was also correlated with $\dot{V}O_2$ in the backward skating test and stride with HR in the agility test with puck. Finally, HR correlated with $\dot{V}O_2$ in the backward skating test and SEI with $\dot{V}O_2$ in the agility test without the puck.

Regression equations

The regression equations of each of the four skating tests are shown in Table 5.5. This table also includes regression equations, correlation coefficients (r), and standard errors of the estimate (SEE). (TABLE 5.5 AROUND HERE)

5.1.6 Discussion

The advent of technologies such as portable metabolic analyzers make possible to assess physiological demands in realistic sports conditions. This information can be very useful in order to better identify physiological characteristics that could be improved, and thus, help increase performance. To our knowledge, there are no on-ice hockey field tests that allow for the estimation of oxygen consumption in linear forward and backward skating in sprint conditions, or when maneuvers require stops and starts, tight turns and/or skating around obstacles with or without puck.

In the early 1990's, Larivière and colleagues published a battery of on-ice tests accompanied by normative values according to age and level of play of youth Canadian hockey players (21). In their original forms, these tests determined the performance based on the time required to execute various skating tasks (i.e. linear forward and backward skating over 30.5m as well as skating agility with and without puck over 110m). Normative values based on execution times are interesting for coaches since they help assess the level of skating competency of players. Moreover, the evaluation is simple since it only requires the use of a stopwatch. In counterpart, the information provided solely by the execution time is very limited and does not offer any indication about the metabolic demand. Indeed, in short duration and high intensity activities, the relationship between intensity and execution time is not as well-defined as in aerobic activities. This phenomenon can be observed in Figure 5.3 where one can notice that for all 4 on-ice tests, the increase in oxygen uptake continued until up to 30 seconds after the end of the exercise. In fact, during short-term and high-intensity efforts, an oxygen deficit is created at the beginning and/or during the effort. This deficit must be

repaid after the end of the exercise because of the oxygen debt (15). This situation generates an increase in oxygen uptake, even when the exercise has stopped.

Table 5.2 allows identifying the impact of the age difference on measured bioenergetic variables. Regarding anthropometric variables, older players are, not surprisingly, heavier and taller. However, although their BMI is significantly higher, their % of body fat was not statistically different. This indicates the limitation of BMI when used in athletes, especially during adolescence.

Concerning the on-ice performance variables, here again the older players demonstrate a marked overall advantage for the four tests studied. It is interesting to note, however, that the oxygen cost is relatively independent of age when expressed in $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. However, this observation can be misleading since the other measured parameters indicate a certain disadvantage for the youngest. In fact, these results rather highlight that for a similar oxygen expenditure, younger players have generally a lower skating efficiency (SEI), a slower skating speed and a higher maximal HR, all factors indicating greater difficulty in maintaining a high level of intensity for a long period of time. In other words, younger players may not be able to follow the same tempo as older players and, as a result, may lack resources as the game progresses.

As shown in Tables 5.3 and 5.4, correlation coefficients between execution time and $\dot{V}\text{O}_2$ generally represent less than 20% of the common variance (r^2). These results suggest that execution time alone is an inappropriate estimator of oxygen uptake requirement for this kind of effort. On the other hand, execution time and SEI share respectively 37.3% (forward skating), 41.4% (backward skating), 50.4% (agility without puck) and 62.9% (agility with puck) of the common variance, indicating the importance of considering skating efficiency SEI to better explain the time required to achieve different skating tasks.

Backward skating appears to be different from the other 3 skating conditions since it requires that the propulsion has to be done by a succession of sculling movements while keeping the two skates in contact with the ice. In fact, this skating technique is more difficult to master since it is rarely used in game situations. For example, during hockey games, forward players spent less than 6% of their time using backward skating while this percentage reaches 19.2% for defensemen (6, 29).

As shown in Table 5.1, oxygen costs are not significantly different between forward and backward skating ($36.7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ versus $37.5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; $t=0.411$; $p=0.684$) despite a significant difference in time required to cover the 30.5m distance (5.25 vs 6.92s; $t=10.637$; $p=0.000$). This is somewhat surprising since we also observe that $\dot{V}O_2$ is negatively correlated with time, indicating that a longer time over a same distance corresponds to lower $\dot{V}O_2$ values. Two explanations seem plausible. The fact that in backward skating, BM is almost continuously supported on both feet may reduce the $\dot{V}O_2$ requirement. This can be indirectly observed since, in backward skating, BM contributes to less than 1% of the common variance with $\dot{V}O_2$, while in the other skating conditions, it accounts for about 20% (Table 5.2 and 5.3). This condition should therefore contribute to reduce the oxygen requirements during backward skating compared to forward skating.

On the other hand, backward skating is not widely used and, therefore, poorly trained, especially for forward players. In these circumstances, the oxygen cost due to deficient mechanical efficiency is probably greater than for forward skating. This hypothesis seems to be supported by the fact that skating efficiency, based on SEI values, was almost twice higher in backward skating ($6.0 \text{ strides}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ vs $3.1 \text{ strides}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) suggesting an alteration of the skating efficiency and thus, a likely increase in oxygen requirement. The same phenomenon was also observed for skating agility with and

without puck. These results seem to confirm once again that time alone is a poor predictor of oxygen cost.

Based on multiple linear regression equations, age, BM, time, HR, # of skating strides and SEI were the best predictors of oxygen expenditure for each of the 4 skating conditions studied. All these variables have the property of being simple to measure and easy to compute. Thus, this information can be easily accessible for coaches and/or physical trainers. Correlation coefficients are generally high (ranging between 0.91 and 0.93) with SEEs ranging from 4.5% to 8.4%, which is excellent for field tests.

Practical applications

Estimating oxygen requirement has many purposes. It allows establishing on an individual basis, the oxygen cost during different skating situations. This information can help coaches better target their interventions. It makes it possible to establish what percentage of $\dot{V}O_2\text{max}$ is required according to the duration and intensity of the effort. For example, in a recent study, Allisse and colleagues (2017) report a mean $\dot{V}O_2\text{max}$ value of $52.7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ for their players. Since the players in our study are of a similar age and skating performance level (based on unpaired t-test comparisons between the values of both studies, no significant difference for age and the 4 skating tests), it is likely that $\dot{V}O_2\text{max}$ values were similar. On this basis, since our players had an oxygen uptake of $36.7 \text{ ml kg}^{-1}\text{min}^{-1}$ during a maximum effort of 5.25 s in forward skating, it can be estimated that the percentage of the required $\dot{V}O_2\text{max}$ corresponds to about 70%. On the other hand, for a longer effort, such as the skating agility without puck (27.3 s), the oxygen uptake was $48.5 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$, which corresponds to up to 90% of $\dot{V}O_2\text{max}$. Thus, a player who has a low $\dot{V}O_2\text{max}$ and high skating oxygen expenditure will have difficulty repeating many high intensity efforts throughout an entire match. In addition, the introduction of the SEI also helps to better determine

which factor of performance needs to be improved. For example, a low SEI indicates high skating efficiency. Thus, in this particular case, it is probably better to work on the player's metabolic component rather than on the biomechanical efficiency in order to improve its skating performance.

5.1.7 Conclusions

This study made it possible for the first time to establish the oxygen cost associated with different skating situations during short-duration and high-intensity efforts. Using simple and easy-to-measure variables, coaches will be able to obtain information that will allow them to intervene more precisely on the training parameters that will optimize the individual on-ice performance of their players.

Acknowledgments

The authors would like to thank the players and coaches who participated in this study. In addition, we would also like to thank Hockey Québec, and more specifically Mr. Yves Archambault, for partially supported this study.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

5.1.8 Références

1. Allisse, M, Bui, HT, Léger, L, Comtois, AS, and Leone, M. Updating the Skating Multistage Aerobic Test and correction for $\dot{V}O_2$ max prediction using a new skating economy index in elite youth ice hockey players. *J Strength Cond Res* Epub ahead of print, 2018.
2. Allisse, M, Sercia, P, Comtois, AS, and Leone, M. Morphological, physiological and skating performance profiles of male age-group elite ice hockey players. *J Hum Kinet* 58: 87-97, 2017.
3. Behm, DG, Wahl, MJ, Button, DC, Power, KE, and Anderson, KG. Relationship between hockey skating speed and selected performance measures. *J Strength Cond Res* 19: 326–331, 2005.
4. Besson C, Buchheit M, Praz M, Dériaz O, Millet GP. Cardiorespiratory Responses to the 30-15 Intermittent Ice Test. *Int J Sports Physiol Perf* 8: 173-180, 2013.
5. Bishop D, Spencer M, Duffield R, Lawrence S. The validity of a repeated sprint ability test. *J Sci Med Sport* 4: 19-29, 2001.
6. Bracko, MR. Biomechanics powers ice hockey performance. *Sports Med* 9: 47-53, 2004.
7. Buchheit, M, Lefebvre, B, Laursen, PB, and Ahmaidi, S (2011) Reliability, usefulness, and validity of the 30-15 Intermittent Ice Test in young elite ice hockey players. *J Strength Cond Res* 25: 1457-1464, 2011.
8. Burr JF, Jamnik RK, Baker J, Macpherson A, Gledhill N, McGuire EJ. Relationship of physical fitness test results and hockey playing potential in elite-level ice hockey players. *J Strength Cond Res* 22: 1535-1543, 2008.
9. Castagna C, Belardinelli R, Impellizzeri FM, Abt GA, Coutts AJ, D'Ottavio S. Cardiovascular responses during recreational 5-a-side indoor-soccer. *J Sci Med Sport* 10: 89-95, 2007.
10. Cohen, J. A power primer. *Psychol Bull* 112: 155–159, 1992.

11. Cox MH, Miles DS, Verde TJ, Rhodes EC. Applied physiology of ice hockey. *SportsMed* 19: 184-201, 1995.
12. Duffield R, Dawson B, Pinnington HC, Wong P. Accuracy and reliability of a Cosmed K4b 2 portable gas analysis system. *J Sci Med Sport*, 7: 11-22, 2004.
13. Ebben WP, Carroll RM, Simenz CJ. Strength and conditioning practices of the National Hockey League strength and conditioning coaches. *J Strength Cond Res* 18: 889-897, 2004.
14. Farlinger, CM, Kruisselbrink, LD, and Fowles, JR. Relationships to skating performance in competitive hockey players. *J Strength Cond Res* 21: 915-922, 2007.
15. Flandrois, R, and Lacour, JR. Metabolic and respiratory parameters during muscular exercise in man. *Bulletin Eur Physiopathol Respir* 13: 329-341, 1977.
16. Fortier, A, Turcotte, RA, and Pearsall, DJ. Skating mechanics of change-of-direction manoeuvres in ice hockey players. *Sports Biomech* 13: 341-350, 2014.
17. Green, MR, Pivarnik, JM, Carrier, DP, and Womack, CJ. Relationship between physiological profiles and on-ice performance of a National Collegiate Athletic Association Division I hockey team. *J Strength Cond Res* 20: 43-46, 2006.
18. Güvenç A, Açıkada C, Aslan A, Özer K. Daily physical activity and physical fitness in 11 to 15-year-old trained and untrained Turkish boys. *J Sports Sci Med* 10: 502-514, 2011.
19. Hill, AV, and Lupton H. (1923) Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen. *Q J Med* 16: 135-171, 1923.
20. Janot, JM, Beltz, NM, and Dalleck, L D (2015) Multiple off-ice performance variables predict on-ice skating performance in male and female division III ice hockey players. *J Sports Sci Med*, 14: 522-529, 2015.
21. Larivière, G, Godbout, P, & Lamontagne, M. *Physical fitness and technical skill appraisal of ice hockey players*. Ottawa, Canadian Hockey Association. 1991.

22. Lavoie, JM, Léger, L, Leone, M, and Provencher P. A maximal multistage swim test to determine the functional and maximal aerobic power of competitive swimmers. *J Swimming Res* 1: 17-22, 1985.
23. Léger, L, Seliger, V, and Brassard, L. Comparisons among $\dot{V}O_2$ max values for hockey players and runners. *Can J Appl Sport Sci* 4: 18-21, 1979.
24. Leone, M, Léger, LA, Larivière, G, and Comtois, AS. An on-ice aerobic maximal multistage shuttle skate test for elite adolescent hockey players. *Int J Sports Med* 28: 823–828, 2007.
25. Lohman, TG, Roche, AF, and Martorell, R. *Anthropometric standardization reference manual*. Champaign, IL: Human Kinetics Publisher, 1988.
26. Margaria, R, Cerretelli, P, Aghemo, P, and Sassi, G. Energy cost of running. *J Appl Physiol* 18: 367-370, 1963.
27. Mascaro, T, Seaver, BL, and Swanson, L. Prediction of skating speed with off-ice testing in professional hockey players. *J Orthop Sports Physl Ther* 15: 92-98, 1992.
28. Menier, DR, and Pugh, LG. The relation of oxygen intake and velocity of walking and running, in competition walkers. *J Physiol* 197: 717-721, 1968.
29. Montgomery, DL, Nobes, K, Pearsall, DJ, and Turcotte, RA. *Task analysis (hitting, shooting, passing, and skating) of professional hockey players*. In DJ Pearsall and AB Ashare (Eds), *Safety in ice hockey: fourth volume* (pp 288-295) West Conshohocken, PA: ASTM International. 2004.
30. Montgomery, DL. Physiology of ice hockey. *Sports Med* 5: 99–126, 1988.
31. Nightingale, SC, Miller, S, and Turner, A. The usefulness and reliability of fitness testing protocols for ice hockey players: A literature review. *J Strength Cond Res* 27: 1742-1748, 2013.
32. Noonan, BC. Intragame blood-lactate values during ice hockey and their relationships to commonly used hockey testing protocols. *J Strength Cond Res* 24: 2290-2295, 2010.

33. Overstreet BS, Bassett DR Jr, Crouter SE, Rider BC, Parr BB. Portable open-circuit spirometry systems. *J Sports Med Phys Fitness* 57: 227-237, 2017.
34. Petrella, NJ, Montelpare, WJ, Nystrom, M, Plyley, M, and Faught, BE. Validation of the FAST skating protocol to predict aerobic power in ice hockey players. *Appl Physiol Nutr Metab* 32: 693-700, 2007.
35. Potteiger, JA, Smith, DL, Maier, ML, and Foster, TS. Relationship between body composition, leg strength, anaerobic power, and on-ice skating performance in division I men's hockey athletes. *J Strength Cond Res* 24: 1755–1762, 2010.
36. Power, A, Faugh, BE, Prysucha, E, McPherson, M, and Montelpare, W. Establishing the test-retest reliability and concurrent validity for the repeat ice skating test (RIST) in adolescent male hockey players. *Meas Physl Educ Exerc Sci* 16: 69-80, 2012.
37. Quinney HA, Dewart R, Game A, Snyder G, Warburton D, Bell G. A 26 year physiological description of a National Hockey League team. *Appl Physiol Nutr Metab* 33: 753-60, 2008.
38. Shell, JR, Robbins, SMK, Dixon, PC, Renaud, PJ, Turcotte, RA, Wu, T, and Pearsall, DJ. Skating start propulsion: three-dimensional kinematic analysis of elite male and female ice hockey players. *Sports Biomech* 16: 313-324, 2017.
39. Stetter, BJ, Buckeridge, E, von Tscherner, V, Nigg, SR, & Nigg, BM. A novel approach to determine strides, ice contact, and swing phases during ice hockey skating using a single accelerometer. *J Appl Biomech* 32: 101-106, 2016.
40. Vescovi JD, Murray TM, Fiala KA, VanHeest JL. Off-ice performance and draft status of elite ice hockey players. *Int J Sports Physiol Perform* 1: 207-221, 2006.

Table 5.1. Anthropometric, physiologic and skating characteristics of the players by tests.

Variables	Forward skating	95% CI	Backward skating	95% CI	P values	ES Cohen d
	(N=20)		(N=20)			
Age (Years)	13.3 ± 1.3	12.7-13.9	13.0 ± 1.3	12.4-13.6	0.470	0.23
Body mass (kg)	56.9 ± 25.1	45.2-68.7	51.6±20.3	42.1-62.1	0.467	0.23
Body height (cm)	161.5 ± 14.6	154.7-168.4	158.5±12.4	152.6-164.3	0.488	0.22
BMI (kg·m ⁻²)	21.0 ± 5.4	18.5-23.5	20.0±4.7	17.8-22.2	0.536	0.20
% fat	16.7 ± 6.7	13.6-19.9	16.0±6.3	13.0-18.9	0.736	0.11
Time (s)	5.3 ± 0.3	5.10-5.25	6.92±0.63	6.63-7.22	0.000*	3.36
Skating speed (km/h)	21.0 ± 1.3	20.0-20.8	16.0±1.4	14.8-16.6	0.000*	3.70
Skating Strides (#)	18.2 ± 1.5	17.5-18.8	26.2±4.5	24.1-28.3	0.001*	2.39
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	36.7 ± 5.8	33.9-39.4	37.5±6.5	34.4-40.5	0.684	0.13
$\dot{V}O_2$ (L·min ⁻¹)	2.0 ± 0.2	1.7-2.4	1.9 ± 0.2	1.6-2.2	0.122	0.50
HR (Beat·min ⁻¹)	169.5 ± 11.9	142.5-152.1	162.2±9.5	157.7-166.6	0.039*	0.68
SEI (strides·m ⁻¹ ·s)	3.1 ± 0.4	3.0-3.1	6.0 ± 1.3	5.4-6.6	0.000*	3.02

Variables	Agility without puck	95% CI	Agility with puck	95% CI	P values	ES Cohen d
	(N=15)		(N=15)			
Age (Years)	12.9±1.4	12.1-13.6	13.0±1.4	12.2-13.7	0.846	0.07
Body mass (kg)	53.1±22.6	40.6-65.6	54.0±22.5	41.5-66.4	0.914	0.04
Body height (cm)	158.9±13.7	151.4-166.5	159.8±14.2	151.9-167.7	0.861	0.07
BMI (kg·m ⁻²)	20.3±4.9	17.6-23.0	20.4±4.9	17.7-23.1	0.996	0.02
% fat	15.8±6.0	12.5-19.2	15.9±5.8	12.7-19.1	0.963	0.02
Time (s)	27.3±1.7	26.4-28.3	29.3±2.5	27.9-30.7	0.019*	0.94
Skating speed (km/h)	14.5±1.0	13.6-14.6	13.6±1.2	12.7-14.0	0.023*	0.82
Skating Strides (#)	68.1±4.7	65.5-70.7	71.0±4.8	68.4-73.6	0.106	0.61
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	48.5±4.3	46.1-50.9	49.1±5.6	40.1-52.2	0.745	0.12
$\dot{V}O_2$ (L·min ⁻¹)	2.5 ± 0.2	2.0-3.0	2.6 ± 0.2	2.1-3.0	0.182	0.50
HR (Beat·min ⁻¹)	189.7±5.4	186.7-192.7	191.9±6.9	185.2-193.0	0.339	0.36
SEI (strides·m ⁻¹ ·s)	17.0 ± 1.8	16.0-18.0	19.0 ± 2.1	17.8-20.2	0.009*	1.02

Values are presented as mean and standard deviation (Means ± SD). BMI (body mass·body-height⁻²); Skating strides (# strides to cover a given distance); HR (Heart rate). N = number of participants. Forward and backward skating; total distance = 30.5m each. Agility without and with puck; total distance = 110m each. * indicate significant differences between forward and backward skating or between agility with and without puck. ES values indicate the Cohen d effect size (<0.19 trivial; 0.20-0.49 small; 0.50-0.79 medium; >0.79 large)

Table 5.2. Anthropometric, physiologic and skating characteristics of the players.

Anthropometric variables						
Variables	Younger	95% CI	Older	95% CI	P values	ES Cohen d
Age (Years)	12.1 ± 0.5	11.8–12.4	14.3 ± 1.0	13.7–15.0	0.000*	2.78
Body mass (kg)	41.2 ± 7.3	36.5–45.8	68.4 ± 26.8	51.4–85.4	0.005*	1.02
Body height (cm)	150.4 ± 4.1	147.8–153.0	170.0 ± 13.2	161.7–178.4	0.000*	1.49
BMI (kg·m ⁻²)	18.1 ± 2.8	16.4–19.9	23.0 ± 5.8	19.3–26.7	0.020*	0.85
% fat	14.9 ± 5.2	11.6–18.2	17.9 ± 7.0	13.5–22.3	0.246	0.49
Forward skating						
Time (s)	5.4 ± 0.2	5.3–5.5	5.1 ± 0.3	4.9–5.4	0.029*	1.16
Skating speed (km/h)	20.3 ± 0.7	19.8–20.9	21.5 ± 1.5	20.5–22.6	0.032*	0.99
Skating Strides (#)	19.0 ± 1.5	17.9–20.2	17.5 ± 1.0	16.8–18.2	0.014*	1.20
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	36.4 ± 5.8	32.0–40.9	36.8 ± 6.1	32.8–40.9	0.882	0.07
$\dot{V}O_2$ (L·min ⁻¹)	1.5 ± 0.3	1.3–1.7	2.4 ± 0.7	1.9–2.9	0.002*	1.61
HR (Beat·min ⁻¹)	141.7 ± 9.8	134.2–149.2	151.9 ± 8.2	146.4–157.4	0.020*	1.14
SEI (strides·m ⁻¹ ·s)	3.4 ± 0.3	3.2–3.6	2.9 ± 0.3	2.7–3.1	0.003*	1.67
Backward skating						
Time (s)	7.1 ± 0.6	6.7–7.4	6.7 ± 0.7	6.2–7.3	0.246	0.62
Skating speed (km/h)	15.6 ± 1.2	14.8–16.4	16.4 ± 1.6	15.2–17.7	0.202	0.58
Skating Strides (#)	26.8 ± 4.7	23.7–30.0	25.4 ± 4.4	22.1–28.8	0.551	0.53
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	37.9 ± 7.7	32.8–43.1	36.9 ± 5.0	33.1–40.7	0.727	0.15
$\dot{V}O_2$ (L·min ⁻¹)	1.6 ± 0.3	1.3–1.8	2.3 ± 0.8	1.7–2.9	0.010*	1.21
HR (Beat·min ⁻¹)	164.7 ± 9.7	158.2–171.3	159.0 ± 8.7	152.3–165.7	0.187	0.62
SEI (strides·m ⁻¹ ·s)	6.2 ± 1.2	5.5–7.0	5.7 ± 1.4	4.6–6.7	0.333	0.39
Agility without the puck						
Time (s)	28.3 ± 0.9	27.6–28.9	26.0 ± 1.9	24.0–27.9	0.007*	1.67
Skating speed (km/h)	14.0 ± 0.4	13.7–14.3	15.3 ± 1.1	14.2–16.4	0.006*	1.73
Skating Strides (#)	68.9 ± 4.1	65.7–72.1	66.8 ± 5.7	60.9–72.8	0.428	0.44
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	48.6 ± 4.2	45.4–51.8	48.4 ± 4.9	43.2–53.5	0.918	0.05
$\dot{V}O_2$ (L·min ⁻¹)	2.0 ± 0.3	1.8–2.2	3.3 ± 0.9	2.4–4.3	0.001*	2.15
HR (Beat·min ⁻¹)	191.2 ± 6.1	186.6–195.9	187.5 ± 3.6	183.7–191.3	0.203	0.70
SEI (strides·m ⁻¹ ·s)	17.7 ± 1.3	16.8–18.7	15.8 ± 1.9	13.9–17.8	0.034*	1.22
Agility with the puck						
Time (s)	30.3 ± 2.1	28.7–31.9	27.9 ± 2.6	25.1–30.6	0.068	1.04
Skating speed (km/h)	13.1 ± 0.8	12.5–13.7	14.3 ± 1.3	12.9–15.6	0.048*	1.28
Skating Strides (#)	71.2 ± 4.6	67.7–74.8	70.7 ± 5.4	65.0–76.3	0.834	0.10
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	49.9 ± 4.8	46.2–53.6	48.0 ± 6.9	40.8–55.3	0.546	0.33
$\dot{V}O_2$ (L·min ⁻¹)	2.0 ± 0.3	1.8–2.3	3.4 ± 0.7	2.7–4.11	0.000*	2.84
HR (Beat·min ⁻¹)	190.6 ± 8.1	184.3–196.8	187.0 ± 4.9	181.9–192.1	0.356	0.51
SEI (strides·m ⁻¹ ·s)	19.7 ± 2.3	18.0–21.4	17.9 ± 1.4	16.4–19.4	0.108	0.90

Values are presented as mean and standard deviation (Means ± SD). BMI (body mass·body-height⁻²); Skating strides (# strides to cover a given distance); HR (Heart rate). Forward and backward skating; total distance = 30.5m each. Agility without and with puck; total distance = 110m each. * indicate significant differences between forward and backward skating or between agility with and without puck. ES values indicate the Cohen *d* effect size (<0.19 trivial; 0.20–0.49 small; 0.50–0.79 medium; >0.79 large)

Table 5.3. Pearson correlation between variables used to predict the oxygen uptake during forward and backward skating.

Variables	Forward Skating					
	Age	Body mass	Time 30.5m	# strides	HR	SEI
Age (Years)						
Body mass (kg)	0.775*					
Time 30m (s)	-0.642*	-0.615*				
# strides (#)	-0.459*	-0.307	0.342			
HR (Beat·min ⁻¹)	0.366	0.263	-0.167	-0.322		
SEI (strides·m ⁻¹ ·s ⁻¹)	-0.651*	-0.527*	0.744*	0.882*	-0.322	
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	0.044	-0.468*	-0.007	-0.086	-0.296	-0.062
$\dot{V}O_2$ (L·min ⁻¹)	0.896*	0.918*	-0.625*	-0.343	0.231	-0.560*
	Backward Skating					
Age (Years)						
Body mass (kg)	0.750*					
Time 30m (s)	-0.574*	-0.536*				
# strides (#)	-0.179	-0.084	0.258			
HR (Beat·min ⁻¹)	-0.271	-0.174	-0.004	0.377		
SEI (strides·m ⁻¹ ·s ⁻¹)	-0.380	-0.305	0.648*	0.900*	0.293	
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	0.114	-0.223	-0.553*	-0.131	0.394	-0.342
$\dot{V}O_2$ (L·min ⁻¹)	0.834*	0.908*	-0.776*	-0.141	0.039	-0.452*

* values indicates significant correlations at the level of $p \leq 0.05$

Table 5.4. Pearson correlation between variables used to predict the oxygen uptake during skating agility without and with puck.

Variables	Skating agility without puck					
	Age	Body mass	Time 110m	# strides	HR	SEI
Age (Years)						
Body mass (kg)	0.741*					
Time 110m (s)	-0.812*	-0.420				
# strides (#)	-0.264	0.368	0.267			
HR (Beat·min ⁻¹)	-0.221	-0.114	0.090	0.048		
SEI (strides·m ⁻¹ ·s ⁻¹)	-0.402	-0.005	0.360*	0.598*	0.651*	
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	-0.056	-0.591*	-0.282	-0.115	-0.135	-0.599*
$\dot{V}O_2$ (L·min ⁻¹)	0.838*	0.977*	-0.545*	0.379	-0.192	-0.560*
	Skating agility with puck					
Age (Years)						
Body mass (kg)	0.741*					
Time 110m (s)	-0.648*	-0.317				
# strides (#)	-0.085	-0.204	0.022			
HR (Beat·min ⁻¹)	-0.197	-0.069	0.119	-0.692*		
SEI (strides·m ⁻¹ ·s ⁻¹)	-0.574*	-0.363	0.806*	0.607*	-0.498*	
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	0.056	-0.591*	-0.241	0.021	-0.026	-0.218
$\dot{V}O_2$ (L·min ⁻¹)	0.897*	0.951*	-0.477	-0.102	-0.193	-0.435

* values indicates significant correlations at the level of $p \leq 0.05$

Table 5.5. Regression equation for each of the four skating tests.

	r	SEE
Forward skating		
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) = (Age×4.54) - (BM×0.30) + (Time 30m×77.6) + (#stride×23.99) - (HR×0.26) - (SEI×141.52) - 369.0	0.91	2.98
Backward skating		
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) = (Age×2.14) - (BM×0.29) - (Time 30m×9.80) - (#stride×0.59) + (HR×0.26) + (SEI×2.16) + 52.9	0.92	3.16
Agility without the puck		
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) = (Age×0.46) - (BM×0.16) + (Time 110m×8.86) + (#stride×3.64) - (HR×0.06) - (SEI×16.07) - 154.4	0.92	2.17
Agility with the puck		
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) = (Age×3.32) - (BM×0.35) - (Time 110m×6.05) - (#stride×2.51) - (HR×0.20) + (SEI×8.34) + 259.9	0.93	2.73

Figure Legends

Figure 5.1 : Illustration of the on-ice setup for the forward and backward skating testing

Figure 5.2 : Illustration of the on-ice setup for the agility tests without and with puck

Figure 5.3 : Average $\dot{V}O_2$ values obtained at time 0, 10, 20, 30 and 40 s after the end of the tests: A) Forward skating; B) Backward skating; C) Agility without puck; D) Agility with puck

Figure 5.1 : Illustration of the on-ice setup for the forward and backward skating testing.

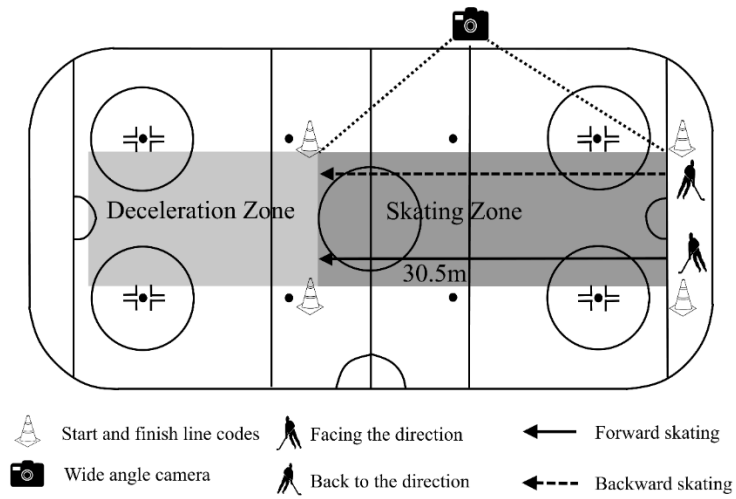


Figure 5.2 : Illustration of the on-ice setup for the agility tests without and with puck.

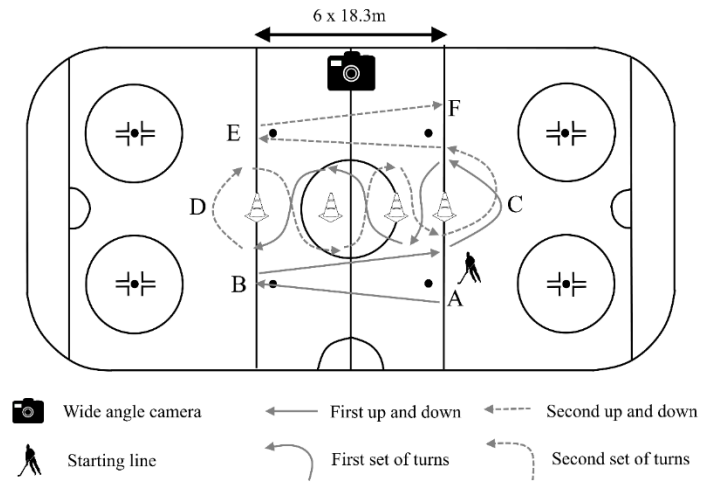
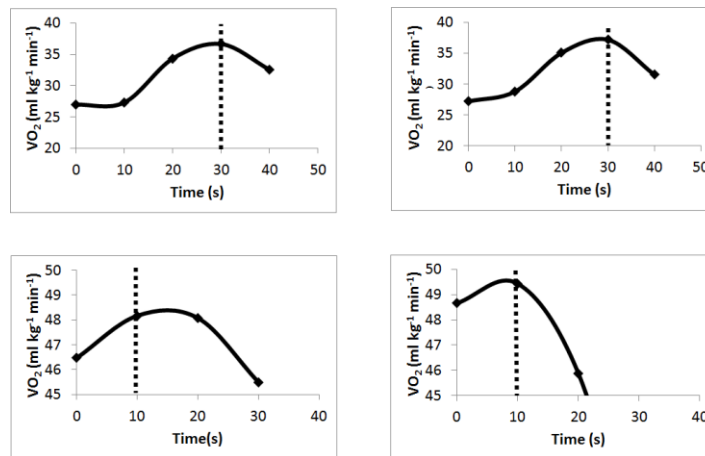


Figure 5.3 : Average $\dot{V}O_2$ values obtained at time 0, 10, 20, 30 and 40 s after the end of the tests: A) Forward skating; B) Backward skating; C) Agility without puck; D) Agility with puck



CHAPITRE VI

ARTICLE IV

6.1 Prediction of on-ice oxygen cost and lactate production, during an all-out anaerobic test in elite youth ice hockey players

Maxime Allisse¹, Hung Tien Bui², Patrick Desjardins¹, Alain-Steve Comtois³, Mario Leone¹

¹Department of Health Sciences, University of Québec in Chicoutimi, Saguenay (QC), Canada.

²Department of Medicine, Sherbrooke University, Sherbrooke (QC), Canada.

³Department of Exercise Sciences, University of Québec in Montréal, Montréal (QC), Canada.

6.1.1 Abstract

The lack of ice hockey-specific lactic anaerobic assessment tools limits the ability of coaches to better track and develop their players. Thus, the aim of this study was to develop two equations that allow to assessing indirectly 1) the O₂ energy expenditure and 2) the maximum lactate concentration produced from an all-out on-ice skating effort. Twenty male elite ice hockey players participated in this study (age=15.7±1.0 year). The maximal anaerobic skating test (MAST) consisted of skating back and forth on an 18.2m course at maximal speed with abrupt stops at each end for a total of 12 shuttles (average time=52.0±2.0s). The O₂ energy cost was measured using a portable metabolic analyzer (Cosmed K4b²) and the maximum post-exercise lactate concentration with a Lactate Pro analyzer. The variables used to estimate oxygen consumption were body mass, time, number of skating strides during the 2nd shuttle, heart rate and skating stride index at the 2nd shuttle. For the lactate concentration estimation, the variables used were time, heart rate, number of skating strides during the 6th shuttle and skating stride index at the 6th shuttle. Correlation coefficients for both equations were r=0.87 and standard error of estimate were 6.2% and 6.8% respectively for O₂ uptake and lactate production, indicating that validity and the reliability of the regression algorithms were excellent. Thus, using simple and easy-to-measure variables, coaches will be able to monitor more effectively their players' progress in an effort to optimize their individual on-ice anaerobic performance.

Keywords: oxygen uptake; lactate production; oxygen deficit; skating efficiency index; ice hockey.

6.1.2 Introduction

The assessment of physical fitness in high performance athletes requires the consideration of multiple factors that may influence athletic performance. Specifically, ice hockey requires skills that are very specific to the on-ice game context, and for which the off-ice fitness assessment is only marginally transferable to the on-ice performance (Behm et al., 2005; Peyer et al., 2011; Vescovi et al., 2006). These constraints, as well as the advent of more sophisticated technologies, allow trainers and researchers to rethink the on-ice fitness assessment. However, although some devices that measure, for example, blood lactate level or oxygen consumption are much more affordable today, the fact remains that their cost of purchase, utilization and maintenance remain a barrier to a widespread use of these products. Thus, in order to facilitate the accessibility of this type of data in a user-friendly manner, it becomes important to develop field tests that make it possible to obtain this type of information.

Although several field tests have been developed to estimate the efficiency of the aerobic system for either general application (Burger et al., 1990; Cooper, 1968; Léger et al., 1988) or sport-specific use (Buchheit et al., 2011; Lavoie et al., 1985; Leone et al., 2007; Petrella et al., 2007), the counterpart concerning the anaerobic system is much less common.

In 1991, a research group led by Larivière presented an on-ice field test that required 12 all-out shuttles (stop and go) over an 18.2m course. This validated test lasting approximately 50 seconds demonstrated that it has excellent reliability by displaying a test-retest correlation coefficient of $r=0.96$. Although the concept of this test is interesting because of its nature and specificity, it only provides the execution time (s) as a performance indicator. On the other hand, Allisse et al., (2019) recently presented a series of four on-ice anaerobic field tests that estimate the oxygen cost during different skating situations. These tests, although relevant in some respect, do not

provide any estimation about the maximum lactate level that can be reached by the players. Indeed, many authors have stated that ice hockey, because of its intermittent and high intensity nature, requires a significant contribution from the anaerobic system that can lead to an important lactate accumulation as observed in match situations (Brocherie et al., 2018; Burr et al., 2008; Green, 1978; Léger, 1980; Montgomery, 1988; Seliger et al., 1972). It therefore seems rather clear that such information could be extremely useful in order to optimize players' training program, and eventually, on-ice performance.

Thus, the goal of this research was to develop algorithms that would allow estimating the blood lactate concentration produced during an all-out on-ice maximal effort and, as a second objective, to determine the oxygen uptake requirement during the skating test.

6.1.3 Methods

Participants

Twenty (20) male elite ice hockey players participated in this study. All participants came from a special sport-study program that recruits among the best Bantam (13-14 years old) and Midget (15-17 years old) players from the Saguenay area (Québec, Canada). The skating test was conducted on a regular Canadian ice rink (61 m long x 26 m wide) just before the beginning of the hockey season (end of September). Although the players came from different hockey teams, they trained together five days/week between August and March. Prior to the beginning of the study, each participant and their parents had signed an informed consent form since it was required from the hockey direction board for the student/player to be included as participants in the hockey program. The project was approved by the Institutional Ethical Committee Board (no: 602.391.01).

Anthropometric measures

Anthropometric variables (weight, height and body mass index) were collected using the procedure proposed by Lohman et al. (1988). Anthropometric measurements were performed in the first week of September (first two days), always in the morning in order to control the effect of the circadian cycle. Body mass (BM) was noted to the nearest 0.1 kg using a Detecto scale (Missouri, USA). Body height (BH) was assessed using a Lafayette stadiometer (Louisiana, USA) at the nearest 0.1 cm. Estimation of the body fat (%) were performed by bioelectrical impedance (Tanita, model TBF-300A, Illinois, USA). In order to control the hydration rate, each assessment was done in the evening, outside the training sessions. Participants were instructed not eat and/or drink 3 hours before the test, not drink coffee and/or alcohol 12 hours prior to the test, not perform excessive exercise 24 hours before the test, and lastly have to empty the bladder 30 minutes before the test. Finally, body mass index (BMI) was calculated using the following formula: $BM \cdot BH^{-2}$ where BM represents body mass (kg) and BH the body height (m).

On-ice testing

The maximal anaerobic skating test (MAST) was evaluated in agreement with the procedures recommended by Larivière et al. (1991) and more recently by Allisse et al. (2017). The MAST consisted of skating back and forth on an 18m course at maximal speed with abrupt stops at each end (Figure 6.1). Players had to wear their complete hockey gear during the MAST, which consists to complete 12 consecutive 18m courses for a total of 216m.

Skating Stride index (SSI)

Based on the work of Allisse et al., (2018; 2019), a user-friendly skating efficiency index (SSI₆), which consists on the number of skating strides at the last round trip,

divided by the average speed ($\text{strides} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}$) to complete the of 12x18m course, was included in the multiple regression model in order to predict the maximum blood lactate level. The same procedure was also used to predict the $\dot{V}\text{O}_2$ uptake but this time using the 2nd round trip, since it is the one that is optimal in the model (SSI_2).

Bioenergetic assessment

Oxygen uptake

Oxygen uptake was assessed using a portable metabolic analyzer system (Cosmed K4b², Rome, Italy). The data were recorded by telemetry. Oxygen uptake values were calculated using the software program provided by the manufacturer (Cosmed Ver 10A, Rome Italy). The system calibration was carried out before each test using ambient air (20.93% O₂ and 0.03% CO₂) and a calibration gas having 17.00% O₂ and 5.03% CO₂. The air flow at the mouth turbine was calibrated with a 3-L syringe.

Post exercise lactate kinetics

Lactate concentration was estimated using a portable lactate analyzer (Lactate Pro-LT-1710, Kyoto, Japan), including Lactate Pro compatible strips, as well as individual self-piercers. (Accu-Chek Safe-T-Pro Plus), alcoholic tampons (Paramedic), sterile compresses (Formedica), medical gloves (AMD Ritmed), sterile dressings (Equate) and an airtight medical waste container (Fisherbrand, 2 gallons Infectious Waste Container, Lot #: 00163140, Cat No. 22037959). Immediately after the end of the MAST, the player slid down to the players' bench (without extra effort) and sat in order to take the blood samples at 1, 3, 5, 10 and 15 minutes (essential for the production of post-exercise lactate kinetics). The Lactate Pro LT-1710 device used in this study is known for its validity (Mc Naughton et al., 2002).

Measure of time

The time for each on-ice event was measured using photocells (Brower timing system, model CM15 MEM, Utah, USA). The time was recorded to the nearest 0.01 second.

Heart rate measurement

Heart rate (HR) was measured by telemetry using the T-31 400 Polar heart rate belt (Polar, Kempele, Finland). As with the oxygen uptake, the HR was measured continuously until the end of the procedure.

6.1.4 Statistical analysis

All values are reported as mean \pm standard deviation (SD). The Shapiro-Wilk test for normality was compiled for each variable. Confidence intervals (CI) were set at the level of 95%. The multiple regression equations were calculated using standard linear regression procedure. Standard error of estimate (SEE) and correlation coefficients were also computed. Pearson correlation coefficients were calculated in order to assess the relationship between the main on-ice performance variables. The power calculation was set for a β at 0.85 with an α of 0.05 and an effect size of 0.5 using the software Gpower version 3.1.9.2. Values of $p \leq 0.05$ were established as significant. Statistical analyses were performed using SPSS v24.0.

6.1.5 Results

All anthropometric and on-ice skating performance variables are presented in Table 6.1. It should be noted that only the variables that played a significant role in either of the 2 proposed models (i.e. lactate production or O_2 cost) were included in this table.

Figure 6.2 shows $\dot{V}O_2$ expressed in $l \cdot \text{min}^{-1}$ measured during the MAST as a function of each shuttle time duration (Figure 6.2A) and shuttle cumulative time (Figure 6.2B). It is noteworthy that $\dot{V}O_2$ toward the end of the relatively short duration test did not increase further despite similar shuttle times (Figure A) forming a plateau (Figure B).

Figure 6.3 illustrates $\dot{V}O_2$ (Figure 6.3A) and lactate production (Figure 6.3B) measured at the end of the test and during the recovery. Figure 6.3A shows the $\dot{V}O_2$ peak measured with the metabolic analyzer and the $\dot{V}O_2$ equivalent ($\dot{V}O_2$ Equiv) calculated as according to Di Prampero and Ferretti (1999) using the maximum blood lactate concentration measured at the end of the test.

Tables 6.2 and 6.3 show the correlation coefficients between the variables that were used to develop the prediction equations for either the oxygen cost and lactate production during the MAST. These tables were designed to present only the variables with the best ability to obtain the optimal linear multiple regressions while minimizing the SEE. For example, one can notice that the $\dot{V}O_2$ expressed in absolute terms ($l \cdot \text{min}^{-1}$) is much better correlated with the variables of the model (Table 6.2) than when it is expressed in relative terms ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). In addition, it can also be noted that the SSI plays an important role in each of the two models, being significantly associated with most of the variables selected. This observation justifies the importance of considering an index of skating efficiency in this type of test.

Table 6.4 shows the two multiple linear regression equations that have been used to develop the algorithms that predict either the O_2 cost or the lactate concentration. Because each of the equations measure a different dimension of the anaerobic system, the contribution and type of variables included in each of the two models could vary. Thus, the BM, that plays a significant role in the determination of O_2 energy cost, holds a marginal role in the estimation of the lactate level, which explains its absence in equation 2. On the other hand, the total time required to perform the MAST as well as the maximum heart rate reached at the end of the course both contribute to the accuracy of their respective models. Finally, the number of skating strides and the SSI were also part of the contributing variables to both models. However, it should be noted that these last two variables are not recorded at the same time during the test. Indeed, the number

of strides and the SSI used to determine the energy cost in O₂ had to be done during the 2nd shuttle, whereas for the lactate rate, the count was to be performed during the 6th.

6.1.6 Discussion

The much greater accessibility of advanced technologies enables the development of field assessment tools that are more powerful and accurate than ever before. It is now easier to validate procedures that are transferable to the field at low cost that increases the possibility that coaches can use them. To our knowledge, there is no specific ice hockey field test allowing the estimation of O₂ cost in a purely anaerobic test. In this respect, this is also the case for the estimation of the maximum lactate production, which is rather surprising given the importance of this energy field in a sport such as ice hockey. Nevertheless, even if these two factors (i.e. O₂ uptake and lactate production) are associated with the lactic anaerobic system, they express an independent dimension of this energy chain by sharing only 1.5% of the common variance ($r^2 = 0.123$, data not shown).

Figure 6.2 shows the dynamics of O₂ consumption for each of the 12 shuttles. As shown in Figure 6.2B, we note that O₂ consumption peaks during the last two shuttles indicating that the players have reached their maximum. This is also confirmed in Table 6.1 where it can be noted that HR achieved are possibly maximal ($195.0 \pm 10.3 \text{ beat} \cdot \text{min}^{-1}$). Thus, it appears rather clearly that this procedure is sufficiently demanding in order to solicit intensively the anaerobic lactic system. In this respect, Figure 6.3B indicates that the maximum lactate concentration reached an average of more than $14.4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, which is consistent with values reported elsewhere (Brocherie et al., 2018).

Table 6.4 shows that the MAST can fill the lack of testing procedures in a very acceptable way. Indeed, it can be seen that from a few easily measurable variables, it

is possible to determine accurately the effectiveness of the body to use O₂ or to produce lactate. In fact, correlation coefficients of each of the equations indicate an $r = 0.87$, which is considered excellent. In addition, we also note that the standard error of the estimate of $0.20 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ for the O₂ cost and $0.90 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ for the lactate production represent respectively a SEE of 6.9% and 6.2%, which is also excellent for a field test.

Allisse et al. (2019) have recently shown from a series of on-ice anaerobic tests, the importance of considering skating efficiency to estimate the energy expenditure in oxygen. Several years earlier, Saltin et al., (1972) had also raised this point for activities that require preponderantly, the anaerobic system. To verify this point, we decided to remove the variables directly related to the skating efficiency in the lactate prediction equation (i.e. SSI_6 and Strides_6). The removal of these variables caused the correlation coefficient to drop to $r = 0.49$ and the SEE to increase to $1.5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (Table 6.4). This corresponds to a SEE of 10.5% that represents a 43% increase in the error of the estimate. The same strategy was also attempted with the energy cost in O₂ ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) but with a much smaller impact. Indeed, the O₂ energy expenditure appears much less sensitive to the effect of the degradation of the skating criteria resulting from the accumulation of fatigue, which tends to confirm the very different nature of these two aspects of hockey performance.

Figure 6.3A confirms the accuracy of our model to indirectly determine the lactate level produced during an intense skating effort. Indeed, according to Di Prampero and Ferretti (1999), the production of $1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ of lactate is equivalent to $3.3 \text{ ml}\cdot\text{O}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Thus, it is worth noting the excellent agreement between the measured ($\dot{V}\text{O}_2$ peak) and the predicted values ($\dot{V}\text{O}_2$ Equiv), confirming the accuracy of our model.

6.1.7 Conclusions

This study allowed for the first time the possibility for coaches to be able to associate some metabolic values during an on-ice test that involves the solicitation of the anaerobic lactic system. The short time required and the simplicity of the required variables make the use of this test attractive. Its validity as well as its reliability makes it a tool of choice for the evaluation of the players. The results obtained will allow coaches to better target the needs of their players and thus improve their specific physical preparation. It is likely that this type of test will fill a need repeatedly expressed by coaches.

Acknowledgments

The authors thank the players and coaches who participated in this study. In addition, the authors also thank Hockey Québec, and more specifically, Mr. Yves Archambault, regional director for Hockey Canada for having partially funded this study.

6.1.8 Références

Allisse, M., Bui, H. T., Desjardins, P., Léger, L., Comtois, A. S., & Leone, M. (sous presse). Assessment of On-Ice Oxygen Cost of Skating Performance in Elite Youth Ice Hockey Players. *Journal of Human Kinetics*.

Allisse, M., Bui, H. T., Léger, L., Comtois, A.-S., & Leone, M. (2018). Updating the Skating Multistage Aerobic Test and Correction for VO₂max Prediction Using a New Skating Economy Index in Elite Youth Ice Hockey Players. *Journal Of Strength And Conditioning Research*. doi: 10.1519/JSC.0000000000002602

Allisse, M., Sercia, P., Comtois, A. S., & Leone, M. (2017). Morphological, Physiological and Skating Performance Profiles of Male Age-Group Elite Ice Hockey Players. *Journal of Human Kinetics*, 58, 87-97. doi: 10.1515/hukin-2017-0085

Behm, D. G., Wahl, M. J., Button, D. C., Power, K. E., & Anderson, K. G. (2005). Relationship between hockey skating speed and selected performance measures. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 19(2), 326-331.

Brocherie, F., Girard, O., & Millet, G. P. (2018). Updated analysis of changes in locomotor activities across periods in an international ice hockey game. *Biology Of Sport*, 35(3), 261-267. doi: 10.5114/biolsport.2018.77826

Buchheit, M., Lefebvre, B., Laursen, P. B., & Ahmaidi, S. (2011). Reliability, usefulness, and validity of the 30-15 Intermittent Ice Test in young elite ice hockey players. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 25(5), 1457-1464. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d686b7

Burger, S. C., Bertram, S. R., & Stewart, R. I. (1990). Assessment of the 2.4 km run as a predictor of aerobic capacity. *South African Medical Journal*, 78(6), 327-329.

- Burr, J. F., Jamnik, R. K., Baker, J., Macpherson, A., Gledhill, N., & McGuire, E. J. (2008). Relationship of physical fitness test results and hockey playing potential in elite-level ice hockey players. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 22(5), 1535-1543. doi: 10.1519/JSC.0b013e318181ac20
- Cooper, K. H. (1968). A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *The Journal of the American Medical Association*, 203(3), 201-204.
- Di Prampero, P. E., & Ferretti, G. (1999). The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respiration Physiology*, 118(2-3), 103-115.
- Green, H. J. (1978). Glycogen depletion patterns during continuous and intermittent ice skating. *Medicine And Science In Sports*, 10(3), 183-187.
- Larivière, G., Godbout, P., & Lamontagne, M. (1991). *Physical fitness and technical skill appraisal of ice hockey players* (Canadian Hockey Association).
- Lavoie, M. J., Léger, L., Leone, M., & Provencher, P. (1985). A maximal multistage swim test to determine the functional and maximal aerobic power of competitive swimmers. *The journal of swimming research*, 1 (2), 17-22.
- Léger, L. (1980). Le hockey sur glace. Dans M. Nadeau, & F. Péronnet (Éds.), *Physiologie appliquée de l'activité physique* (pp. 115-129). St-Hyacinthe: Edisem.
- Léger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, 6(2), 93-101.

- Leone, M., Léger, L. A., Larivière, G., & Comtois, A. S. (2007). An on-ice aerobic maximal multistage shuttle skate test for elite adolescent hockey players. *International Journal Of Sports Medicine*, 28(10), 823-828.
- Lohman, T. G., Roche, A. F., & Martorell, R. (1988). *Anthropometric standardization reference manual*. Champaign, Ill.: Human Kinetics Books.
- Mc Naughton, L. R., Thompson, D., Philips, G., Backx, K., & Crickmore, L. (2002). A comparison of the lactate Pro, Accusport, Analox GM7 and Kodak Ektachem lactate analysers in normal, hot and humid conditions. *International Journal Of Sports Medicine*, 23(2), 130-135.
- Montgomery, D. L. (1988). Physiology of ice hockey. *Sports Medicine*, 5(2), 99-126.
- Petrella, N. J., Montelpare, W. J., Nystrom, M., Plyley, M., & Faught, B. E. (2007). Validation of the FAST skating protocol to predict aerobic power in ice hockey players. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 32(4), 693-700. doi: 10.1139/H07-057
- Peyer, K. L., Pivarnik, J. M., Eisenmann, J. C., & Vorkapich, M. (2011). Physiological characteristics of National Collegiate Athletic Association Division I ice hockey players and their relation to game performance. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 25(5), 1183-1192. doi: 10.1519/JSC.0b013e318217650a
- Saltin, B., Gagge, A. P., Bergh, U., & Stolwijk, J. A. (1972). Body temperatures and sweating during exhaustive exercise. *Journal Of Applied Physiology*, 32(5), 635-643.
- Seliger, V., Kostka, V., Grusová, D., Kovác, J., Machovcová, J., Pauer, M., ... Urbánková, R. (1972). Energy expenditure and physical fitness of ice-hockey players. *Internationale Zeitschrift Fur Angewandte Physiologie, Einschliesslich Arbeitsphysiologie*, 30(4), 283-291.

Vescovi, J. D., Murray, T. M., Fiala, K. A., & VanHeest, J. L. (2006). Off-ice performance and draft status of elite ice hockey players. *International Journal Of Sports Physiology And Performance*, 1(3), 207-221.

Figure Legends

Figure 6.1: Illustration of the on-ice setup for the MAST.

Figure 6.2: Oxygen uptake as a function of time (A) or the shuttle number (B) during the 12x18m anaerobic skating test.

Figure 6.3: Comparison of $\dot{V}O_2$ peak measured and $\dot{V}O_2$ peak estimated from maximum lactate values (A). Post-exercise lactate kinetic is also illustrated (B).

Figure 6.1. Illustration of the on-ice setup for the MAST.

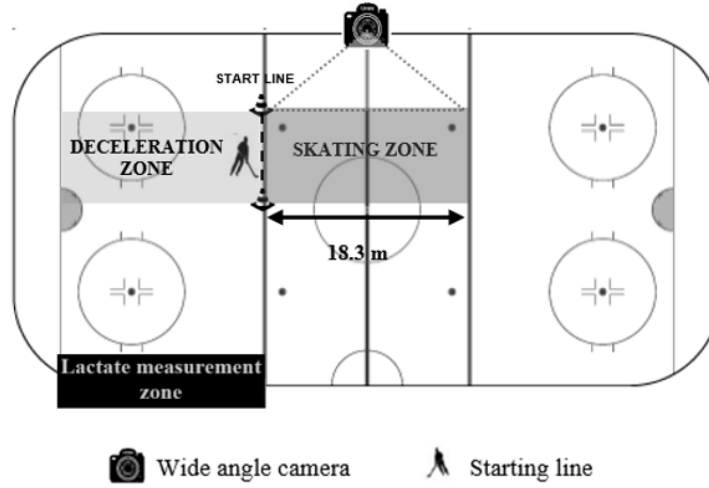


Figure 6.2. Oxygen uptake as a function of time (A) or the shuttle number (B) during the 12x18m anaerobic skating test.

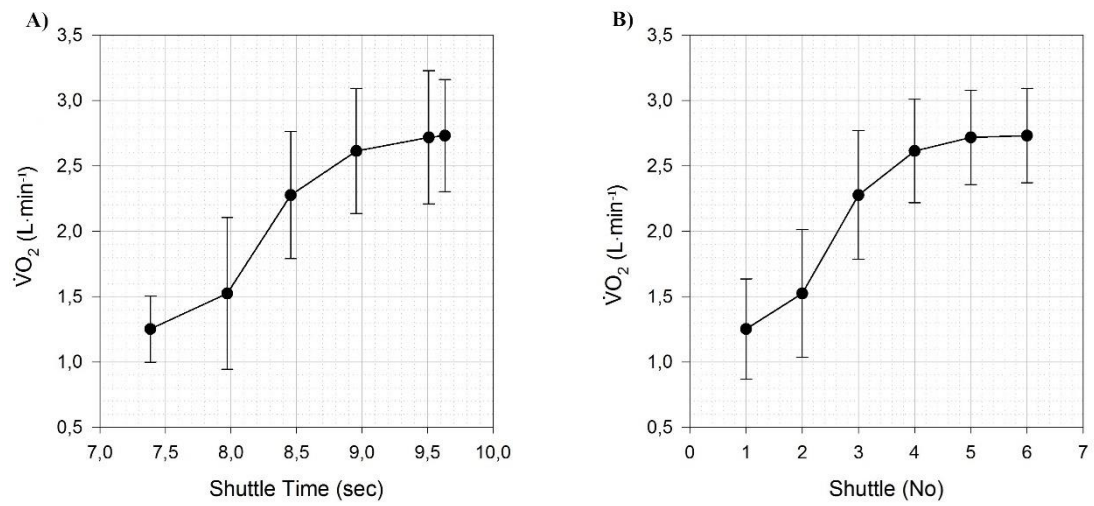


Figure 6.3. Comparison of $\dot{V}O_2$ peak measured and $\dot{V}O_2$ peak estimated from maximum lactate values (A). Post-exercise lactate kinetic is also illustrated (B).

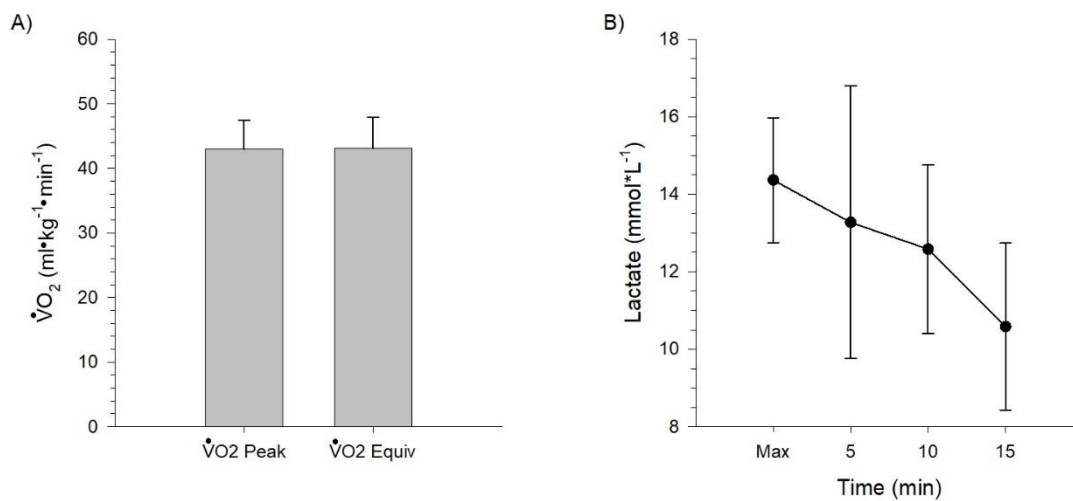


Table 6.1. Anthropometric, physiologic and skating characteristics of the players.

Variables	Mean	95% CI	Median
Age (Years)	15.7 ± 1.0	15.3 - 16.2	16.1
Body mass (kg)	68.1 ± 8.9	64.0 - 72.3	67.9
Body height (cm)	174.1 ± 5.8	171.4 - 176.8	173.3
BMI (kg·m ²)	22.4 ± 2.3	21.3 - 23.5	22.8
% fat	14.6 ± 4.6	12.4 - 16.7	15.0
Time (s)	52.0 ± 2.0	51.0 - 52.9	52.6
Skating speed (m·s ⁻¹)	4.23 ± 0.17	4.15 - 4.31	4.18
Lactate (mmol·l ⁻¹)	14.4 ± 1.6	13.6 - 15.1	14.7
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	43.0 ± 4.5	40.9 - 45.1	42.5
$\dot{V}O_2$ (l·min ⁻¹)	2.9 ± 0.4	2.7 - 3.1	2.9
HR (Beat·min ⁻¹)	195.0 ± 10.3	190.0 - 199.9	195.0
SSI_2 (strides·m ⁻¹ ·s)	4.89 ± 0.51	4.65 - 5.13	4.84
SSI_6 (strides·m ⁻¹ ·s)	5.54 ± 0.51	5.79 - 5.79	5.67

Values are presented as means and standard deviations (Means ± SD). BMI (body mass·body·height⁻²); HR (Heart rate). SSI_2 = number of skating strides at the second shuttle (2x18m) divided by the average speed (12x18m); SSI_6 = number of skating strides at the last shuttle (2x18m) divided by the average speed (12x18m).

Table 6.2. Pearson correlation coefficient between variables used to predict oxygen uptake during the 12x18m anaerobic skating test.

Variables	Skating O ₂ cost							
	Body mass	$\dot{V}O_{2_m}$	$\dot{V}O_{2_l}$	V	HR	Stride2	Time	SSI_2
Body mass (kg)								
$\dot{V}O_2$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	-0.308							
$\dot{V}O_2$ (l·min ⁻¹)	0.773	0.360						
V (m·s ⁻¹)	0.508	0.177	0.649					
HR (Beat·min ⁻¹)	-0.355	-0.269	-0.551	-0.374				
Stride_2 (#)	-0.245	-0.218	-0.396	-0.290	0.111			
Time 218m (s)	-0.519	-0.165	-0.650	-0.999	0.377	0.286		
SSI_2 (strides·m ⁻¹ ·s ⁻¹)	-0.427	-0.242	-0.603	-0.688	0.258	0.892	0.687	

$\dot{V}O_{2_m}$ = relative to body mass; $\dot{V}O_{2_l}$ = absolute value; V = average speed during the 12x18m test; HR = Heart rate; Stride2 = number of strides during the 2nd shuttle; Time = Total time to complete 12x18m; SSI_2 = number of strides during the 2nd shuttle divided by the average speed. Bold values indicate significant correlations at the level of $p \leq 0.05$.

Table 6.3. Pearson correlation coefficient between variables used to predict lactate concentration during the 12x18m anaerobic skating test.

Variables	Skating lactate concentration						
	Body mass	Lactate	V	HR	Stride6	Time	SSI_6
Body mass (kg)							
Lactate (mmol·l ⁻¹)	-0.139						
V (m·s ⁻¹)	0.508	0.188					
HR (Beat·min ⁻¹)	-0.355	0.353	-0.374				
Stride_6 (#)	-0.358	0.386	-0.147	-0.186			
Time 218m (s)	-0.519	-0.185	-0.999	0.377	0.141		
SSI_6 (strides·m ⁻¹ ·s ⁻¹)	-0.540	0.261	-0.589	0.019	0.885	0.585	

Lactate = maximum lactate concentration; V = average speed during the 12x18m test; HR = Heart rate; Stride6 = number of strides during the 6th shuttle; Time = Total time to complete 12x18m; SSI_6 = number of strides during the 6th shuttle divided by the average speed. Bold values indicate significant correlations at the level of $p \leq 0.05$

Table 6.4. Regression equation for each of the two estimated parameters during the 12x18m anaerobic skating test

Skating O ₂ cost estimation	r	SEE
$\dot{V}O_2$ (l·min ⁻¹) = (BM×0.024) - (Time 218m×-0.014) + (stride_2×0.027) - (HR×0.007) - (SSI_6×0.255) + 4.21	0.87	0.20
Skating lactate level estimation		
Lactate (mmol·l ⁻¹) = (Time 218m×3.52) + (stride_6×9.58) + (HR×0.10) - (SSI×39.09) - 195.1	0.87	0.90
Skating lactate level estimation without skating variables		
Lactate (mmol·l ⁻¹) = (Time 218m×-0.28) + (HR×0.08) + 13.90	0.49	1.51

CHAPITRE VII

DISCUSSION

La poursuite de l'excellence sportive est un processus long et complexe qui doit prendre en compte plusieurs facteurs. D'un point de vue physique, la performance sportive de haut niveau se manifeste de manière différente selon le sport pratiqué. Compte tenu de la spécificité de chacune des disciplines sportives, que ce soit sur des caractéristiques techniques, morphologiques, physiologiques ou biomécaniques, il devient essentiel de développer des outils d'évaluation physique qui prennent en compte ces différences. Cette démarche est fondamentale dans la perspective où l'évaluation précise des athlètes permettrait de mieux cibler les forces et les faiblesses spécifiques de chacun et ainsi, de développer de meilleurs programmes d'entraînement qui optimiseront la performance.

Au début des années 2000, Leone et al. (2002) ont mis en évidence que des différences morphologiques et physiologiques caractérisaient déjà à l'adolescence, la performance sportive de haut niveau dans différents sports. La combinaison de ces deux facteurs permettait de reconnaître le sport d'appartenance des athlètes dans 88% des cas. Les mesures anthropométriques permettaient à elles seules de classer correctement plus de 75% des athlètes dans le bon sport, contre environ 60% sur la base des tests physiologiques. Bien que l'on soit tenu de reconnaître l'importance des caractéristiques morphologiques dans la performance sportive (Carter et Heath, 1990; James, 2009; Pion et al., 2015; Sammoud et al., 2018), la moins bonne valeur prédictive des caractéristiques physiologiques peut sembler, aux premiers abords, étonnante. En fait,

ce que démontre cette étude est que plus les variables de performance physiologique mesurées sont de nature non spécifique (par exemple des tests de pompes, de redressement assis, de flexibilité générale, etc.), plus limités sont les informations qui permettent de mieux monter un programme d'entraînement spécifique efficace.

Afin de procéder d'une manière systématique, la première étape consistait à tracer le profil des athlètes correspondant au sport et au niveau de performance visée. Dans le cadre de cette thèse de doctorat, le hockey sur glace était le sport d'intérêt. Plus spécifiquement, les joueurs ayant participé aux différents projets étaient tous des joueurs élités provenant des catégories Pee-wee, Bantam et Midget (11 à 17 ans). Or, au hockey sur glace, il existe peu de procédures standardisées et spécifiques qui permettent d'évaluer les joueurs. Les protocoles existants se limitent souvent à évaluer la performance sur glace à partir du temps nécessaire afin d'effectuer différentes tâches (Larivière et al., 1991). La seule mesure du temps n'apparaît cependant pas suffisante afin de bien traduire les exigences bioénergétiques réelles lors des différentes manœuvres de patinage. Tout nouvel apport à ce niveau pourrait certainement amener une contribution significative pour les intervenants œuvrant dans le domaine du hockey sur glace.

Compte tenu des caractéristiques propres au hockey et des groupes d'âge visés, les travaux de cette thèse ont permis de valider différents tests sur glace de manière à permettre aux entraîneurs et aux scientifiques de se doter d'outils d'évaluation spécifiques et conviviaux.

7.1 Profil anthropométrique et physiologique des joueurs de hockey élités

Lors de la première étude de cette thèse (Allisse et al., 2017), il était primordial de bien identifier le profil des joueurs de hockey élités afin de mieux déterminer la pertinence

des tests qui nous permettront de mieux caractériser les besoins en termes d'évaluation sur glace. Pour ce faire, 18 joueurs de la catégorie Bantam ont été évalués à trois reprises de manière à couvrir une saison complète, à savoir, le début de saison, la fin de saison et le début de la saison suivant, ce qui permettait de documenter la période estivale. Le choix de cette catégorie d'âge reposait sur le fait que c'est à partir de ce niveau que toutes les règles du hockey international s'appliquent, incluant les mises en échec.

Cette catégorie d'âge marque donc une transition très importante entre le jeu sans et avec contacts physiques. Compte tenu de cet élément nouveau qui s'ajoute au jeu, il est plus ou moins surprenant de constater que les entraîneurs ont tendance à sélectionner des joueurs ayant un physique plus imposant (c.-à-d. la masse corporelle, la taille, les diamètres osseux et les circonférences musculaires) que la moyenne des adolescents du même âge. Ce phénomène est corroboré également par le fait que la composante prédominante du somatotype était clairement la mésomorphie. Bien qu'un niveau d'ectomorphie élevé est généralement néfaste pour la performance dans des sports comme le hockey, cette étude a permis de démontrer que ceci était vrai seulement dans les cas où le niveau de masse musculaire était trop faible. Ce phénomène avait déjà été rapporté (Watson, 1988), mais jamais chez des joueurs de hockey sur glace.

Au niveau des tests d'évaluation physique, nous avons démontré que des tests de nature trop générale ne permettent pas de qualifier la performance sur glace. En fait, les tests hors glace permettent d'expliquer en général, moins de 20% de la variance commune avec les épreuves sur glace, et ce peu importe le moment de la saison. D'autres études avaient démontré ce phénomène, mais chez des joueurs élités adultes (Behm et al., 2005; Peyer et al., 2011; Vescovi et al., 2006b). Ces résultats mettent en lumière l'importance de développer des tests hors glaces plus spécifiques au hockey sur glace afin de potentialiser la précision des évaluations.

Les tests sur glace ont permis de décrire pour la première fois, la dynamique des changements dans l'efficacité de patinage durant une saison complète pour cette catégorie d'âge. Parmi les faits intéressants, on remarque que les qualités de patinage s'améliorent substantiellement durant la saison de hockey, mais se dégradent durant la saison morte (avril à août), indiquant ainsi le manque d'impact de l'entraînement estival hors glace sur les qualités de patinage. Cette observation milite, elle aussi, sur le fait qu'il faut repenser les méthodes d'entraînement hors glace si le but recherché est d'améliorer la performance sur glace.

7.2 Inclusion d'un indice d'efficacité de patinage afin de prédire le $\dot{V}O_2\text{max}$

Bien que le hockey sur glace soit reconnu comme un sport à prédominance anaérobie, il est cependant admis qu'une partie non négligeable de l'énergie requise pour la performance de patinage provient aussi de la filière aérobie. Selon Montgomery (1988; 2006), environ 30% de l'énergie requise provient de la combustion de l'oxygène. Ainsi, compte tenu de l'importance de cette filière énergétique, il devient donc très intéressant de pouvoir l'évaluer précisément. Or, en 2007, Leone et ses collègues ont présenté un des premiers tests d'évaluation sur glace qui permet de prédire le $\dot{V}O_2\text{max}$ chez les joueurs de hockey. Tout comme le test de course navette de 20m duquel cette procédure s'est inspirée (Léger et al., 1988), ce test suppose que tous les individus ayant complété un palier donné, possèdent une même valeur de $\dot{V}O_2\text{max}$. Ce constat est encore fortement ancré même dans des procédures récentes (Buchheit et al., 2011; Petrella et al., 2007). Cette supposition est probablement vraie pour les sports impliquant une difficulté technique minimale comme en cyclisme par exemple, mais non pour des activités physiques qui exigent un haut niveau de maîtrise technique comme le hockey et la natation. À cet égard, un groupe de chercheurs de l'Université de Montréal ont développé une épreuve de terrain en piscine dans laquelle un indice d'efficacité de nage avait été incorporé dans le test aérobie (Lavoie et Leone, 1988; Lavoie et al., 1985).

L'incorporation d'un indicateur simple d'efficacité de nage (nombre de mouvements de bras/vitesse de nage) a permis d'améliorer de manière significative la précision de la prédiction du $\dot{V}O_2\text{max}$ et de réduire l'erreur-type de l'estimé, indiquant bien l'importance de considérer un facteur d'économie mécanique pour ce genre d'épreuve.

Dans l'étude 2 (Allisse et al., 2018), une procédure semblable a donc été introduite lors de l'administration du Skating Multistage Aerobic Test (SMAT) tel que proposé par Leone et al. (2007). De plus, l'utilisation d'une technologie portable (Cosmed K4b²) a également contribué à affiner la précision des mesures. Tel que l'avaient remarqué Lavoie et Leone (1985; 1988), l'ajout d'un indicateur simple (ici, nombre de coups de patin à $4,2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ /masse corporelle en kg) augmente la validité tout en réduisant l'erreur-type de l'estimé même si ce groupe de joueurs était très homogène, ce qui est plutôt remarquable. Cependant, puisque le joueur doit supporter son propre poids durant toute la durée du test, l'indice d'efficacité de patinage diffère donc de celui en natation, puisque dans cette activité le corps est supporté par l'eau. Ainsi, l'introduction d'un indice d'économie mécanique dans une activité où le poids du corps est supporté s'avère, à notre connaissance, une première. Il serait toutefois intéressant de valider cet indice de patinage en étendant cette procédure chez des joueurs élites plus âgées. De plus, il serait également pertinent de faire la distinction entre les attaquants et les défenseurs. Finalement, nous croyons que ce type de procédure aurait intérêt à être utilisée dans les tests aérobies qui exigent une maîtrise technique importante.

7.3 Évaluation du coût énergétique en O_2 lors de différentes situations de patinage

Il est assez étonnant de constater qu'il existe peu de procédures sur glace qui se sont intéressées à l'évaluation des déterminants anaérobies. Au milieu des années 1970, Larivière et Godbout (1976) ont proposé une série de quatre tests sur glace qui s'intéressent à cette composante. Deux de ces épreuves mesurent la vitesse de patinage

(patinage avant et arrière) lors d'un sprint sur une distance de 30m. Les deux autres épreuves visent à mesurer l'agilité du joueur à réaliser un parcours standardisé en contrôlant ou non une rondelle (110m). Le critère de performance pour chacun de ces tests est le temps requis afin de parcourir la distance totale. Dans l'épreuve de patinage avant (temps le plus court), la durée pour franchir les 30m se situait à environ 5s alors que l'épreuve la plus lente (agilité avec contrôle de la rondelle) était d'environ 28s. Le rationnel qui est supporté pour ce genre d'épreuves sous-entend que les joueurs les plus rapides sont les plus efficaces dans une perspective bioénergétique.

Bien qu'une performance physique basée sur le temps d'exécution ne soit pas dénuée d'intérêt, il reste que l'information qu'elle apporte est plutôt limitée et ne permet pas vraiment d'inférer sur la demande bioénergétique du joueur. Pourtant l'information que pourraient fournir des épreuves qui permettraient de quantifier la composante énergétique serait très utile afin d'aider le joueur à améliorer sa capacité à répéter de courts sprints ou à optimiser la durée maximale de ceux-ci.

Reprenant les procédures développées par Larivière (1976; 1991), Allisse et al. (2019) ont mené une étude visant à développer des algorithmes qui permettraient d'estimer la dépense énergétique (coût énergétique en O_2) pour chacune des quatre épreuves. Ici encore, l'inclusion d'un indice d'efficacité de patinage s'est avérée importante afin de maximiser la précision des prédictions de la consommation d'oxygène. De plus, l'importance de considérer l'âge des joueurs afin d'estimer plus précisément le coût en O_2 , est ressortie clairement de cette étude. En effet, on remarque que les joueurs plus jeunes mettaient plus de temps à parcourir les différentes distances, atteignaient des fréquences cardiaques plus élevées et affichaient une efficacité de patinage plus faible pour une dépense énergétique semblable. Ce constat est important, car il illustre bien que les joueurs plus jeunes (donc théoriquement moins mature physiquement)

pourraient éprouver plus de difficultés à répéter des sprints et/ou à maintenir une vitesse optimale plus longtemps.

Les corrélations entre le temps d'exécution et le coût en O₂ représentent généralement moins de 20% de la variance commune. Ce résultat représente une belle démonstration des limites évidentes lorsque l'on considère uniquement le temps d'exécution comme critère d'évaluation du rendement bioénergétique de l'athlète. En contrepartie, le temps d'exécution et l'indice d'efficacité de patinage partagent globalement environ 50% de la variance commune, indiquant ainsi l'importance de considérer ce critère également lors d'épreuves de plus courte durée. Dans l'avenir, il serait intéressant de documenter l'intérêt de cette étude pour des catégories d'âge supérieures en distinguant les joueurs en fonction de leur position de jeu.

7.4 Estimation de la dépense énergétique et de la production de lactate lors d'une épreuve typiquement anaérobie lactique

La capacité à fournir des efforts supra maximaux est une caractéristique déterminante dans les sports où l'intensité du jeu peut atteindre un niveau élevé. Le hockey sur glace faisant partie de cette catégorie, il apparaît évident que l'estimation des paramètres associés à cette fonction physiologique est particulièrement importante. Traditionnellement, l'évaluation de la capacité anaérobie se fait en laboratoire sur bicyclette ergométrique via le test de Wingate (Gledhill et Jamnik, 2007; Vescovi et al., 2006a). Étant donné que la spécificité des mesures de puissance anaérobies lors du test Wingate a été remise en question pour les athlètes de sports intermittents et que la contribution du système aérobie et anaérobie a été documenté dans les sports collectifs, les tests de capacités à répéter des sprints ont gagné en popularité auprès des entraîneurs sportifs (Aziz et Teh, 2004; Meckel et al., 2009). Certains chercheurs ont par conséquent développé des épreuves dont l'objectif a été d'identifier les joueurs les plus

performants dans un contexte spécifique aux durées d'actions (Bishop et al., 2001; Da Silva et al., 2011; Dawson et al., 1991; Hazir et al., 2018; Phomsoupha et al., 2018; Zagatto et al., 2009). Or, à ce jour, ce type d'épreuve n'a pas encore été validé pour des épreuves sur glace. Il est toutefois à noter que notre groupe de recherche est sur le point d'expérimenter une procédure sur glace équivalente au RAST, ce qui se rapprocherait davantage des exigences du hockey sur glace.

Tel que nous l'avons déjà documenté, le manque de spécificité des épreuves d'évaluation peut affecter la précision des mesures. À cet égard, Larivière et al. (1991) ont proposé un test anaérobie maximal sur glace qui consiste à exécuter 12 allers-retours avec freinage à chaque extrémité d'un parcours d'une longueur de 18m. Malheureusement, cette procédure souffre de la même lacune que celle déjà décrite précédemment. En effet, le seul indicateur de performance fourni par ce test est le temps d'exécution.

Pour la dernière étude de cette thèse, Allisse et al. (2019) ont mené une recherche qui avait pour objectif d'associer une valeur métabolique au test anaérobie proposé par Larivière et al. (1976; 1991). Le coût en O_2 était mesuré en continu durant tout le test alors que la concentration de lactate était, quant à elle, mesurée après la fin de l'épreuve (1,3,5, 15 et 20 minutes post exercice).

Tel que démontré par Allisse et al. (2018) et Allisse et al. (2019), l'inclusion d'un indice d'efficacité de patinage s'est avéré un élément intéressant afin d'améliorer la prédiction de la dépense énergétique en O_2 , autant pour les épreuves aérobies qu'anaérobies. Dans le cadre de cette épreuve qui se veut principalement anaérobie lactique, l'incorporation d'un élément mécanique (économie de patinage) a eu un impact majeur en faisant passer la corrélation du modèle de régression multiple de 0,54 à 0,87 tout en réduisant l'erreur-type de l'estimé de 10.4% à 6.5% pour la concentration de lactate. Ce constat

rejoint celui émis par Saltin et al. (1972) qui rapportaient l'importance de considérer un indice de rendement mécanique lors d'épreuves mesurant la capacité anaérobie lactique. Cet impact s'est cependant avéré moins important pour la détermination du coût énergétique en O_2 , possiblement à cause de la multiplication des coups de patin qu'exige l'atteinte d'une vitesse maximale qui se fait au détriment de l'efficacité mécanique de patinage (augmentation de la variabilité interindividuelle de l'indice de patinage).

CONCLUSION

Les travaux de cette thèse de doctorat ont permis de combler plusieurs lacunes en ce qui a trait à l'évaluation des joueurs de hockey sur glace élite âgés de 11 à 17 ans. Dans un premier temps, ils ont permis de mettre en lumière les limites des procédures existantes. En second lieu, grâce à une démarche rigoureuse, nos travaux ont rendu possible l'actualisation de tests de patinage reconnus comme étant valides et fidèles en optimisant la quantité d'informations pouvant être générée par ces procédures.

D'un point de vue pratique, les nouveaux algorithmes développés dans cette thèse permettront aux entraîneurs et aux scientifiques qui s'intéressent au hockey sur glace, de bénéficier d'outils simples et populaires qui leur serviront à mieux identifier les forces et les faiblesses des joueurs et ainsi, de mieux personnaliser leurs programmes d'entraînement. Effectivement, le fait de pouvoir associer une composante métabolique et biomécanique à ces épreuves permettra de mieux isoler les facteurs pouvant influencer la performance de l'athlète et, par conséquent, de mieux cibler l'intervention optimale requise. Finalement, notre équipe est la première à avoir démontré l'importance d'inclure un indice d'économie de patinage simple lors de tests sur glace. Cette démonstration a donc permis d'améliorer de manière notable la précision de ce type de mesures.

ANNEXE A : CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ DES PARTICIPANTS ET DE LEURS
PARENTS

ÉVALUATION DE L'APTITUDE PHYSIQUE ET DE LA SANTÉ DES ADOLESCENTS MASCULINS ÂGÉS DE 11 À 17 ANS EN HOCKEY SUR GLACE.

Formulaire de consentement

Je soussigné(e), Mme, Mlle, Mr _____

**ACCEPTÉ QUE MON ENFANT _____ PARTICIPE A CETTE ETUDE
DANS LES CONDITIONS PRECISEES DANS LE FORMULAIRE D'INFORMATION CI-JOINT.**

Notre consentement ne décharge en rien les responsables de la recherche de leurs responsabilités. Nous conservons tous nos droits garantis par la loi. Nous pourrions à tout moment, si nous le désirons, d'arrêter sans supporter aucune responsabilité. Nous en informerons le Docteur D. Theunynck de mon retrait de l'étude.

J'accepte que les données enregistrées à l'occasion de cette étude, puissent faire l'objet d'un traitement informatisé, par le promoteur et pour son compte. J'ai bien noté que le droit d'accès prévu par la loi " Informatique et Liberté " modifiée par la loi n°94-548 du 1^{er} juillet 1994, s'exerce à tout moment auprès du Dr D. Theunynck. Les données recueillies demeureront strictement confidentielles. Je n'autorise leur consultation que par des personnes qui collaborent à la recherche, mandatées par le Docteur D. Theunynck, éventuellement, par un représentant des autorités de santé. De plus, la participation de mon enfant à cette étude sera inscrite sur le fichier national des personnes qui se prêtent à des recherches biomédicales "avec bénéfice individuel direct". Je pourrai vérifier auprès du titulaire de l'autorisation de lieu de recherches ou du ministre chargé de la santé, l'exactitude des données les concernant présentes dans ce fichier et la destruction des ces données au terme du délai prévu à l'article R. 1124-7 du code de la santé publique. Je pourrai exercer mon droit de rectification auprès de lui. J'ai pris connaissance également que mon enfant ne pourra pas participer à une autre étude "avec bénéfice individuel direct" au bout d'une semaine après la fin de celle-ci.

Le laboratoire de l'Université du Littoral a accepté la promotion de cette étude et a contracté une assurance.

Fait à _____ le _____

L'enfant

Nom :

Prénom :

Signature obligatoire :

Mère de l'enfant Mme/Mlle/

Nom :

Prénom :

Signature obligatoire :

Père de l'enfant Mr

Nom :

Prénom :

Signature obligatoire :

L'investigateur

Docteur D. Theunynck

Signature obligatoire :

(1) Veuillez rayer la mention inutile.

Fait en triple exemplaire dont un remis au patient et un au promoteur de l'étude.

ANNEXE B : APPROBATION PAR LE COMITÉ D'ÉTHIQUE

UQACUniversité du Québec
à ChicoutimiComité d'éthique de la recherche
avec des êtres humains**APPROBATION ÉTHIQUE**

Dans le cadre de l'Énoncé de politique des trois conseils : éthique de la recherche avec des êtres humains 2 et conformément au mandat qui lui a été confié par la résolution CAD-7163 du Conseil d'administration de l'Université du Québec à Chicoutimi, approuvant la *Politique d'éthique de la recherche avec des êtres humains* de l'UQAC, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Chicoutimi, à l'unanimité, délivre la présente approbation éthique puisque le projet de recherche mentionné ci-dessous rencontre les exigences en matière éthique et remplit les conditions d'approbation dudit Comité.

Responsable(s) du projet de recherche : *Monsieur Maxime Allisse*
Étudiant, Doctorat en biologie santé, UQAC

Direction de recherche : *Monsieur Mario Leone, directeur de recherche, DSS, Kinésiologie, UQAC*
Monsieur Denis Theunynck, codirecteur, science de la santé, ULCO France

Projet de recherche intitulé : *Évaluation de l'aptitude physique et de la santé d'enfants masculins âgés de 11 à 17 ans en hockey sur glace.*

No référence : 602.391.01

La présente est valide jusqu'au 1^{er} novembre 2014.

Rapport de statut attendu pour le **1^{er} septembre 2014.**

<http://www.uqac.ca/recherche/cer/prolongation.php>

Date d'émission initiale de l'approbation : 26 juin 2013

Date(s) de renouvellement de l'approbation :



François Guérard, Ph.D., président

ANNEXE C : LETTRE EXPLICATIVE À L'INTENTION DES PARENTS, DE
L'ADOLESCENT

**FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT
CONCERNANT LA PARTICIPATION À UN PROJET DE RECHERCHE**

1. TITRE DU PROJET

Evaluation de l'aptitude physique et de la santé des adolescents masculins âgés de 11 à 17 ans en hockey sur glace.

2. RESPONSABLE(S) DU PROJET DE RECHERCHE

Responsable :
Maxime ALLISSE

Cochercheur (s'il y a lieu) :
Denis Theunynck

Directeur de recherche (si le responsable est un étudiant) :
Mario Leone

3. PRÉAMBULE

Nous sollicitons votre participation à un projet de recherche. Cependant, avant d'accepter de participer à ce projet et de signer ce formulaire d'information et de consentement, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur responsable du projet ou aux autres membres du personnel affecté au projet de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

4. NATURE, OBJECTIFS ET DÉROULEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

4.1. Description du projet de recherche

A la fin des années 70, beaucoup de chercheurs se sont intéressés à la physiologie du joueur de hockey sur glace, avec les méthodes disponibles à cette époque (Larivière et al, 1976). Cependant, l'évolution de la technologie nous amène aujourd'hui à repenser les évaluations de la condition physique sur glace.

En effet, les tests actuels classent le niveau d'un joueur en fonction d'un temps pour un exercice spécifique sur glace. Nous pensons donc actualiser les différents tests (sprint, agilité, endurance) à l'aide d'un analyseur de gaz portable (K4b2), nous permettant d'évaluer la dépense énergétique du coup de patin. Nous souhaitons également y associer une analyse vidéo (décompte des coups de patin) et un accéléromètre qui permettra probablement d'estimer de la dépense énergétique de l'exercice.

Le but de cette expérience est d'offrir aux entraîneurs des outils d'évaluations de la condition physique (VO2max, puissance, efficacité de patinage) accessibles et précis.

4.2. Objectif(s) spécifique(s)

Nous avons défini, pour cette étude, les objectifs suivants :

- Évaluer la dépense énergétique sur glace pour différents types de tests physiques (sprints, endurance, agilité),
- Évaluer la santé globale d'un joueur de hockey (questionnaires) et identifier des problématiques pouvant être modifiées par des interventions pédagogiques,
- Expérimenter un accéléromètre sur glace,

Nous pensons que les évaluations des aptitudes physiques en hockey sur glace peuvent être améliorées avec la technologie d'aujourd'hui (analyseur de gaz portable K4b2) et qu'il existe, dans ce sport comme d'autres, des habitudes de vie pouvant dégrader la santé de ces jeunes sportifs.

4.3. Déroulement

Tous les participants seront évalués physiquement un par un sur trois jours différents (30 minutes/jours) à partir d'une batterie de tests sur glace standardisés qui comprend notamment le sprint avant et arrière sur 30 mètres, un sprint long avec freinage (12 x 60 pieds), un test d'agilité avec et sans rondelle (sur 18,3 mètres) et un test d'endurance-intermittent SMAT sur 45m). Chaque participant sera filmé, portera un analyseur de gaz portable (consommation en oxygène), un cardiofréquencemètre, un accéléromètre pendant les épreuves physiques sur glace.

De plus, des mesures anthropométriques (taille, poids, circonférences, pourcentage de masse grasse) et cinq questionnaires sur la santé globale (perception qu'à le sportif de lui-même, image corporelle, temps consacré aux multimédia, sommeil, fréquence de consommation des boissons dites "énergisantes") seront également administrées.

Toutes les mesures seront encadrées par le responsable de la recherche (Maxime Allisse, étudiant au doctorat) et sous la supervision du professeur Mario Leone (directeur).

5. AVANTAGES, RISQUES ET/OU INCONVÉNIENTS ASSOCIÉS AU PROJET DE RECHERCHE

Avantages: Connaissance de ses qualités physiques sur glace à l'aide d'une technologie de précision et ce gratuitement. La fierté d'avoir contribué à l'avancement des connaissances scientifiques au hockey.

Inconvénients: Possibilité de courbatures et d'élongation musculaire lors des tests. Cependant, les risques restent minimes avec une incidence qui ne dépasse pas la pratique habituelle du hockey.

6. CONFIDENTIALITÉ DES DONNÉES

La présentation des résultats de cette recherche se fera en respect de l'anonymat des participants. À cet égard, aucune donnée permettant d'identifier les sujets ne sera publiée ou divulguée.

Toutes présentations de résultats globaux (normes statistiques) de l'étude seront publiées, sans identification des participants. L'accès aux données individuelles sera restreint au personnel de recherche. Un formulaire de confidentialité sera remis et signé à toutes les personnes ayant accès à la banque de données. Celle-ci sera placée dans un lieu et un environnement sécurisés (bureau du chercheur responsable, Mario Leone).

7. PARTICIPATION VOLONTAIRE ET DROIT DE RETRAIT

La participation à ce projet de recherche est volontaire. Le participant peut se retirer en tout temps sans préjudice.

8. INDEMNITÉ COMPENSATOIRE

Aucune compensation monétaire n'est attribuée.

9. PERSONNES-RESSOURCES

Si vous avez des questions concernant le projet de recherche ou si vous éprouvez un problème que vous croyez relié à votre participation au projet de recherche, vous pouvez communiquer avec le responsable du projet de recherche aux coordonnées suivantes :

Mario Leone, Ph.D. Directeur
Programmes de kinésiologie
Université du Québec à Chicoutimi
Tél. : (418) 545-5011 poste 4581
Courriel : mario.leone@uqac.ca

Pour toute question d'ordre éthique concernant votre participation à ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec la coordonnatrice du Comité d'éthique de la recherche aux coordonnées suivantes : 418-545-5011 poste 2493 ou cer@uqac.ca.

10. CONSENTEMENT

Consentement du participant

J'ai pris connaissance du formulaire d'information et de consentement et je comprends suffisamment bien le projet pour que mon consentement soit éclairé. Je suis satisfait des réponses à mes questions et du temps que j'ai eu pour prendre ma décision.

Je consens à participer à ce projet de recherche aux conditions qui y sont énoncées. Je comprends que je suis libre d'accepter de participer et que je pourrai me retirer en tout temps de la recherche si je le désire, sans aucun préjudice ni justification de ma part. Une copie signée et datée du présent formulaire d'information et de consentement m'a été remise.

Nom et signature du participant

Date

Signature de la personne qui a obtenu le consentement si différent du chercheur responsable du projet de recherche.

J'ai expliqué au sujet de recherche les termes du présent formulaire d'information et de consentement et j'ai répondu aux questions qu'il m'a posées.

Nom et signature de la personne qui obtient le consentement

Date

Signature et engagement du chercheur responsable du projet

Je certifie qu'un membre autorisé de l'équipe de recherche a expliqué au participant les termes du formulaire, qu'il a répondu à ses questions et qu'il lui a clairement indiqué qu'il pouvait à tout moment mettre un terme à sa participation, et ce, sans préjudice.

Je m'engage, avec l'équipe de recherche, à respecter ce qui a été convenu au formulaire d'information et de consentement et à en remettre une copie signée au sujet de recherche.

Nom et signature du chercheur responsable du projet de recherche

Date

RÉFÉRENCES

- Ainegren, M., Carlsson, P., Tinnsten, M., & Laaksonen, M. S. (2013). Skiing economy and efficiency in recreational and elite cross-country skiers. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 27(5), 1239-1252. doi: 10.1519/JSC.0b013e31824f206c
- Allen, T. H., Peng, M. T., Chen, K. P., Huang, T. F., Chang, C., & Fang, H. S. (1956). Prediction of total adiposity from skinfolds and the curvilinear relationship between external and internal adiposity. *Metabolism: Clinical And Experimental*, 5(3), 346-352.
- Allisse, M., Bui, H. T., Desjardins, P., Léger, L., Comtois, A. S., & Leone, M. (sous presse). Assessment of On-Ice Oxygen Cost of Skating Performance in Elite Youth Ice Hockey Players. *Journal of Human Kinetics*.
- Allisse, M., Bui, H. T., Léger, L., Comtois, A.-S., & Leone, M. (2018). Updating the Skating Multistage Aerobic Test and Correction for VO₂max Prediction Using a New Skating Economy Index in Elite Youth Ice Hockey Players. *Journal Of Strength And Conditioning Research*. doi: 10.1519/JSC.0000000000002602
- Allisse, M., Sercia, P., Comtois, A. S., & Leone, M. (2017). Morphological, Physiological and Skating Performance Profiles of Male Age-Group Elite Ice Hockey Players. *Journal of Human Kinetics*, 58, 87-97. doi: 10.1515/hukin-2017-0085
- Almansba, R., Gosselin Boucher, V., Andrée-Anne, P., & Comtois, A. S. (2017). *Repeated Linear and Quadrangular Sprint As a Function of Anaerobic Power*. doi: 10.1519/JSC.0000000000002358

- Andrade, V., Santiago, P., Kalva, C., Campos, E., & Papoti, M. (2014). Reproducibility of running anaerobic sprint test (RAST) for soccer players. *The Journal of sports medicine and physical fitness*.
- Armstrong, N., & Welsman, J. (2005). Physiology of the child athlete. *Lancet*, 366 Suppl 1, S44-S45.
- Armstrong, N., & Welsman, J. R. (2001). Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11- to 17-year-old humans. *European Journal Of Applied Physiology*, 85(6), 546-551.
- Armstrong, N., Welsman, J. R., & Chia, M. Y. (2001). Short term power output in relation to growth and maturation. *British Journal Of Sports Medicine*, 35(2), 118-124.
- Astrand, I., Astrand, P. O., Christensen, E. H., & Hedman, R. (1960). Intermittent muscular work. *Acta Physiologica Scandinavica*, 48, 448-453.
- Astrand, P. O. (1952). *Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age*. Copenhagen: Fjnar Munksgaard.
- Aziz, A. R., & Teh, K. C. (2004). Correlation between tests of running repeated sprint ability and anaerobic capacity by Wingate cycling in multi-sprint sports athletes. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 16, 14-22.
- Bale, P. (1986). The relationship of somatotype and body composition to strength in a group of men and women sport science students. Dans J.A.P. Day (ed). In: *Perspectives in kinanthropometry*, Champaign, IL., Human Kinetics Publishers (pp. p. 187-198.).

- Bale, P., Colley, E., & Mayhew, J. (1984). Size and somatotype correlates of strength and physiological performance in adult male students. *Australian Journal of Science & Medicine in Sport*, 16(4), 2-6.
- Balsom, P. D. (1995). *High Intensity Intermittent Exercise: Performance and Metabolic Responses With Very High Intensity Short Duration Work Periods*. Karolinska Institutue, Stockholm. Disponible dans ProQuest Dissertations & Theses Global.
- Balyi, I., & Hamilton, A. (2010). Long-term athlete development trainability in childhood and Adolescence. *American Swimming*, 2010(2), 14-23.
- Bangsbo, J., Gollnick, P. D., Graham, T. E., Juel, C., Kiens, B., Mizuno, M., & Saltin, B. (1990). Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *The Journal Of Physiology*, 422, 539-559.
- Baquet, G., Twisk, J. W. R., Kemper, H. C. G., Van Praagh, E., & Berthoin, S. (2006). Longitudinal follow-up of fitness during childhood: interaction with physical activity. *American Journal Of Human Biology: The Official Journal Of The Human Biology Council*, 18(1), 51-58.
- Bar-Or, O. (1987). The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports Medicine*, 4(6), 381-394.
- Bar-Or, O., & Duizabo, D. (1987). *Medecine du sport chez l'enfant: principes physiologiques et applications cliniques*. Paris;: Masson.
- Barnsley, R. H., Thompson, A. H., & Barnsley, P. E. (1985). Hockey success and birthdate: the relative age effect. *Journal of the Canadian Association for Health, Physical Education and Recreation.*, 51(8), 23-28.

- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. / Facteurs limitants de la consommation maximale d'oxygene et determinants de la performance d'endurance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(1), 70-84.
- Baxter-Jones, A. (1995). Growth and Development of Young Athletes. *Sports Medicine*, 20, 59-64. doi: 10.2165/00007256-199520020-00001
- Behm, D. G., Wahl, M. J., Button, D. C., Power, K. E., & Anderson, K. G. (2005). Relationship between hockey skating speed and selected performance measures. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 19(2), 326-331.
- Beltz, N. M., Gibson, A. L., Janot, J. M., Kravitz, L., Mermier, C. M., & Dalleck, L. C. (2016). Graded Exercise Testing Protocols for the Determination of VO₂max: Historical Perspectives, Progress, and Future Considerations. *Journal Of Sports Medicine*, 2016. doi: 10.1155/2016/3968393
- Beneke, R., Pollmann, C., Bleif, I., Leithäuser, R. M., & Hütler, M. (2002). How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? *European Journal Of Applied Physiology*, 87(4-5), 388-392.
- Berentzen, N. E., Wijga, A. H., van Rossem, L., Postma, D. S., Gehring, U., & Smit, H. A. (2017). Pubertal Timing and Cardiometabolic Markers at Age 16 Years. *The Journal Of Pediatrics*, 187, 158-164. doi: 10.1016/j.jpeds.2017.04.008
- Besson, C., Buchheit, M., Praz, M., Dériaz, O., & Millet, G. P. (2013). Cardiorespiratory responses to the 30-15 intermittent ice test. *International Journal Of Sports Physiology And Performance*, 8(2), 173-180.
- Bishop, D., & Edge, J. (2006). Determinants of repeated-sprint ability in females matched for single-sprint performance. *European Journal Of Applied Physiology*, 97(4), 373-379.

- Bishop, D., Lawrence, S., & Spencer, M. (2003). Predictors of repeated-sprint ability in elite female hockey players. *Journal Of Science And Medicine In Sport*, 6(2), 199-209.
- Bishop, D., Spencer, M., Duffield, R., & Lawrence, S. (2001). The validity of a repeated sprint ability test. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 4(1), 19-29.
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H., & Lakomy, H. K. (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *Journal Of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 80(3), 876-884.
- Boucher, V. G., Parent, A.-A., St-Jean Miron, F., Leone, M., & Comtois, A. S. (2017). Comparison Between Power Off-Ice Test and Performance on-Ice Anaerobic Testing. *Journal Of Strength And Conditioning Research*. doi: 10.1519/JSC.0000000000002336
- Bracko, M. R. (2004). Biomechanics powers ice hockey performance. *Biomechanics*, 11(9), 47-53.
- Bracko, M. R., Fellingham, G. W., Hall, L. T., Fisher, A. G., & Cryer, W. (1998). Performance skating characteristics of professional ice hockey forwards. *Sports Medicine, Training & Rehabilitation*, 8(3), 251-263.
- Bracko, M. R., & George, J. D. (2001). Prediction of ice skating performance with off-ice testing in women's ice hockey players. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 15(1), 116-122.
- Brayne, S. (1986). *A comparison of on-ice and laboratory tests of ice hockey fitness*. McGill University, Ottawa : National Library of Canada.

- Brocherie, F., Girard, O., & Millet, G. P. (2018). Updated analysis of changes in locomotor activities across periods in an international ice hockey game. *Biology Of Sport*, 35(3), 261-267. doi: 10.5114/biolsport.2018.77826
- Brown, L., & Ferrigno, V. A. (2014). *Training for Speed, Agility, & Quickness*.
- Buchheit, M. (2008). The 30-15 intermittent fitness test: accuracy for individualizing interval training of young intermittent sport players. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 22(2), 365-374. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181635b2e
- Buchheit, M., Lefebvre, B., Laursen, P. B., & Ahmaidi, S. (2011). Reliability, usefulness, and validity of the 30-15 Intermittent Ice Test in young elite ice hockey players. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 25(5), 1457-1464. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d686b7
- Burger, S. C., Bertram, S. R., & Stewart, R. I. (1990). Assessment of the 2.4 km run as a predictor of aerobic capacity. *South African Medical Journal*, 78(6), 327-329.
- Burr, J. F., Jamnik, R. K., Baker, J., Macpherson, A., Gledhill, N., & McGuire, E. J. (2008). Relationship of physical fitness test results and hockey playing potential in elite-level ice hockey players. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 22(5), 1535-1543. doi: 10.1519/JSC.0b013e318181ac20
- Caprino, D., Clarke, N. D., & Delextrat, A. (2012). The effect of an official match on repeated sprint ability in junior basketball players. *Journal Of Sports Sciences*, 30(11), 1165-1173. doi: 10.1080/02640414.2012.695081
- Carey, D. G., Drake, M. M., Pliego, G. J., & Raymond, R. L. (2007). Do hockey players need aerobic fitness? Relation between VO₂max and fatigue during high-intensity intermittent ice skating. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 21(3), 963-966.

- Carroll, T. R., Bacharach, D., Kelly, J., Rudrud, E., & Karns, P. (1993). Metabolic cost of ice and in-line skating in Division I collegiate ice hockey players. *Canadian Journal Of Applied Physiology*, 18(3), 255-262.
- Carter, J. E., & Heath, B. H. (1990). *Somatotyping - development and applications*. New York: Cambridge University Press.
- Carter, J. E. L. (1985). Morphological factors limiting human performance. *American Academy of Physical Education Papers*, (18), 106-117.
- Carter, J. L. (1980). *The Heath-Carter Somatotype Method. 3rd ed.* San Diego, Californie: San Diego State University.
- Carvalho, H. M., Coelho-e-Silva, M. J., Eisenmann, J. C., & Malina, R. M. (2013). Aerobic fitness, maturation, and training experience in youth basketball. *International Journal Of Sports Physiology And Performance*, 8(4), 428-434.
- Carvalho, H. M., Coelho-e-Silva, M. J., Gonçalves, C. E., Philippaerts, R. M., Castagna, C., & Malina, R. M. (2011). Age-related variation of anaerobic power after controlling for size and maturation in adolescent basketball players. *Annals Of Human Biology*, 38(6), 721-727. doi: 10.3109/03014460.2011.613852
- Castagna, C., Belardinelli, R., Impellizzeri, F., Abt, G., Coutts, A., & D'Ottavio, S. (2007). Cardiovascular responses during recreational 5-a-side indoor-soccer. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 10(2), 89-95.
- Chaouachi, A., Manzi, V., Wong, D. P., Chaalali, A., Laurencelle, L., Chamari, K., & Castagna, C. (2010). Intermittent endurance and repeated sprint ability in soccer players. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 24(10). doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e347f4

- Charles, J. D., & Bejan, A. (2009). The evolution of speed, size and shape in modern athletics. *The Journal Of Experimental Biology*, 212(15), 2419-2425. doi: 10.1242/jeb.031161
- Cobley, S., Baker, J., Wattie, N., & McKenna, J. (2009). Annual age-grouping and athlete development: a meta-analytical review of relative age effects in sport. *Sports Medicine*, 39(3), 235-256. doi: 10.2165/00007256-200939030-00005
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155-159. doi: 10.1037/0033-2909.112.1.155
- Cokke, K., Quinn, A., & Sibte, N. (2011). Testing speed and agility in elite tennis players. *Strength & Conditioning Journal*, 33(4), 69-72. doi: 10.1519/SSC.0b013e31820534be
- Cooper, K. H. (1968). A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *The Journal of the American Medical Association*, 203(3), 201-204.
- Cox, M. H., Miles, D. S., Verde, T. J., & Rhodes, E. C. (1995). Applied physiology of ice hockey. *Sports Medicine*, 19(3), 184-201.
- Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hopper, M. K., & Walters, T. J. (1988). Determinants of endurance in well-trained cyclists. *Journal of Applied Physiology*, 64(6), 2622-2630.
- Craig, A. B., Jr., & Pendergast, D. R. (1979). Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine And Science In Sports*, 11(3), 278-283.

- Cunningham, D. A., & Faulkner, J. A. (1969). Effect of training on aerobic and anaerobic metabolism during a short exhaustive run. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *1*(2), 65-69.
- Da Silva, J., Guglielmo, L. A., Carminatti, L., De Oliveira, F., Dittrich, N., & Paton, C. (2011). Validity and reliability of a new field test (Carminatti's test) for soccer players compared with laboratory-based measures. *Journal of Sports Sciences*, *29*(15), 1621-1628.
- Daniels, J., Oldridge, N., Nagle, F., & White, B. (1978). Differences and changes in VO₂ among young runners 10 to 18 years of age. *Medicine & Science in Sports*, *10*(3), 200-203.
- Dawson, B., Ackland, T., Roberts, C., & Lawrence, S. (1991). The phosphate recovery test revisited. *Sports Coach*, *14*(3), 41-41.
- De Moraes, A. M., Gonçalves, E. M., Barbeta, V. J., & Guerra-Júnior, G. (2013). Cross-sectional study of the association of body composition and physical fitness with bone status in children and adolescents from 11 to 16 years old. *BMC Pediatrics*, *13*, 117-117. doi: 10.1186/1471-2431-13-117
- De Ste Croix, M. B. A., Armstrong, N., & Welsman, J. R. (1999). Concentric isokinetic leg strength in pre-teen, teenage and adult males and females. *Biology of Sport*, *16*(2), 75-86.
- Deaner, R. O., Lowen, A., & Cobley, S. (2013). Born at the wrong time: selection bias in the NHL draft. *PLOSS One*, *8*(2). doi: 10.1371/journal.pone.0057753
- Delisle-Houde, P., Chiarlitti, N. A., Reid, R. E. R., & Andersen, R. E. (2019). Predicting On-Ice Skating Using Laboratory- and Field-Based Assessments in Collegiate Ice Hockey Players. *International Journal Of Sports Physiology And Performance*, 1-21. doi: 10.1123/ijsp.2018-0708

- Di Prampero, P. E., Davies, C. T., Cerretelli, P., & Margaria, R. (1970). An analysis of O₂ debt contracted in submaximal exercise. *Journal Of Applied Physiology*, 29(5), 547-551.
- Di Prampero, P. E., & Ferretti, G. (1999). The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respiration Physiology*, 118(2-3), 103-115.
- Di Prampero, P. E., Fusi, S., Sepulcri, L., Morin, J. B., Belli, A., & Antonutto, G. (2005). Sprint running: a new energetic approach. *The Journal Of Experimental Biology*, 208(14).
- Di Prampero, P. E., & Margaria, R. (1968). Relationship between O₂ consumption, high energy phosphates and the kinetics of the O₂ debt in exercise. *European Journal Of Physiology*, 304(1), 11-19.
- Docherty, D. (1996). *Measurement in pediatric exercise science*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Doyon, K. H., Perrey, S., Abe, D., & Hughson, R. L. (2001). Field Testing of in Cross-Country Skiers With Portable Breath-by-Breath System. *Canadian journal of applied physiology*, 26, 1-11.
- Dreger, R. W. (1997). Using skate-treadmills to train hockey players for speed. *Strength & Conditioning*, 19(6), 33-35.
- Duffield, R., Dawson, B., Pinnington, H. C., & Wong, P. (2004). Accuracy and reliability of a Cosmed K4B2 portable gas analysis System. *Journal of science and medicine in sport*, 7, 11-22.

- Düking, P., Born, D.-P., & Sperlich, B. (2016). The Speed Court: Reliability, Usefulness, and Validity of a New Method to Determine Change-of-Direction Speed. *International Journal Of Sports Physiology And Performance*, 11(1), 130-134. doi: 10.1123/ijsp.2015-0174
- Durocher, J. J., Guisfredi, A. J., Leetun, D. T., & Carter, J. R. (2010). Comparison of on-ice and off-ice graded exercise testing in collegiate hockey players. *Applied Physiology, Nutrition, And Metabolism*, 35(1), 35-39. doi: 10.1139/H09-129
- Durocher, J. J., Jensen, D. D., Arredondo, A. G., Leetun, D. T., & Carter, J. R. (2008). Gender differences in hockey players during on-ice graded exercise. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 22(4), 1327-1331. doi: 10.1519/JSC.0b013e31816eb4c1
- Ebben, W. P., Carroll, R. M., & Simenz, C. J. (2004). Strength and conditioning practices of National Hockey League strength and conditioning coaches. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 18(4), 889-897.
- Ebben, W. P., Petushek, E. J., & Clewein, R. (2009). A Comparison of Manual and electronic Timing during 20 and 40 Yards Sprints. *Journal of Exercise Physiology Online*, 12(5), 34-38.
- Ekblom, B., Hermansen, L., & Saltin, B. (1967). *Hastighetsakning pa skridsko*. Stockholm;: Framtiden.
- Farlinger, C. M., & Fowles, J. R. (2008). The effect of sequence of skating-specific training on skating performance. *International Journal Of Sports Physiology And Performance*, 3(2), 185-198.
- Farlinger, C. M., Kruisselbrink, L. D., & Fowles, J. R. (2007). Relationships to skating performance in competitive hockey players. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 21(3), 915-922.

- Federolf, P. A., Mills, R., & Nigg, B. (2008). Ice friction of flared ice hockey skate blades. *Journal Of Sports Sciences*, 26(11), 1201-1208. doi: 10.1080/02640410802027360
- Ferguson, R. J., Marcotte, G. G., & Montpetit, R. R. (1969). Maximal oxygen uptake test during ice skating. *Medicine & Science in Sports*, 1(4), 207-211.
- Fields, J. B., Merrigan, J. J., White, J. B., & Jones, M. T. (2018). Body Composition Variables by Sport and Sport-Position in Elite Collegiate Athletes. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 32(11), 3153-3159. doi: 10.1519/JSC.0000000000002865
- Figueiredo, A. J., Gonçalves, C. E., Coelho E Silva, M. J., & Malina, R. M. (2009). Youth soccer players, 11-14 years: maturity, size, function, skill and goal orientation. *Annals Of Human Biology*, 36(1), 60-73. doi: 10.1080/03014460802570584
- Flandrois, R., & Lacour, J. R. (1977). Metabolic and respiratory parameters during muscular exercise in man. *Bulletin Europeen De Physiopathologie Respiratoire*, 13(3), 329-341.
- Folland, J. P., Allen, S. J., Black, M. I., Handsaker, J. C., & Forrester, S. E. (2017). Running Technique is an Important Component of Running Economy and Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(7), 1412-1423. doi: 10.1249/MSS.0000000000001245
- Fortier, A., Turcotte, R. A., & Pearsall, D. J. (2014). Skating mechanics of change-of-direction manoeuvres in ice hockey players. *Sports Biomechanics*, 13(4), 341-350.

- Franch, J., Madsen, K., Djurhuus, M. S., & Pedersen, P. K. (1998). Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(8), 1250-1256.
- Frost, G., Bar-Or, O., Dowling, J., & Dyson, K. (2002). Explaining differences in the metabolic cost and efficiency of treadmill locomotion in children. *Journal Of Sports Sciences*, 20(6), 451-461.
- Frost, G., Dowling, J., Dyson, K., & Bar-Or, O. (1997). Cocontraction in three age groups of children during treadmill locomotion. *Journal Of Electromyography And Kinesiology: Official Journal Of The International Society Of Electrophysiological Kinesiology*, 7(3), 179-186.
- Gaitanos, G. C., Williams, C., Boobis, L. H., & Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal Of Applied Physiology*, 75(2), 712-719.
- Geijsel, J., Bomhoff, G., Van Velzen, J., De Groot, G., & Van Ingen Schenau, G. J. (1984). Bicycle ergometry and speed skating performance. *International Journal of Sports Medicine*, 5(5), 241-245.
- Geithner, C. A., Lee, A. M., & Bracko, M. R. (2006). Physical and performance differences among forwards, defensemen, and goalies in elite women's ice hockey. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 20(3), 500-505.
- Gerber, B. P., Pienaar, A. E., Kruger, A., & Ellis, S. (2014). Interrelations between anthropometric and fitness changes during mid-adolescence in boys: a 2-year longitudinal study. *American Journal Of Human Biology: The Official Journal Of The Human Biology Council*, 26(5), 617-626. doi: 10.1002/ajhb.22572
- Gibbs, B. G., Jarvis, J. A., & Dufur, M. J. (2012). The rise of the underdog? The relative age effect reversal among Canadian-born NHL hockey players: A reply to

Nolan and Howell. *International Review for the Sociology of Sport*, 47(5), 644-649.

Gilenstam, K. M., Thorsen, K., & Henriksson-Larsén, K. B. (2011). Physiological correlates of skating performance in women's and men's ice hockey. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 25(8), 2133-2142. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181ecd072

Girard, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop, D. J. (2011). *Repeated-Sprint Ability Part I: Factors Contributing to Fatigue* (Vol. 41). doi: 10.2165/11590550-000000000-00000

Glaister, M., Witmer, C., Clarke, D. W., Guers, J. J., Heller, J. L., & Moir, G. L. (2010). Familiarization, reliability, and evaluation of a multiple sprint running test using self-selected recovery periods. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 24(12), 3296-3301. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181bac33c

Gledhill, N., & Jamnik, V. (2007). *Detailed Assessment Protocols For NHL Entry Draft Players*. Toronto.

Green, H., Bishop, P., Houston, M., McKillop, R., Norman, R., & Stothart, P. (1976). Time-motion and physiological assessments of ice hockey performance. *Journal Of Applied Physiology*, 40(2), 159-163.

Green, H. J. (1978). Glycogen depletion patterns during continuous and intermittent ice skating. *Medicine And Science In Sports*, 10(3), 183-187.

Green, H. J. (1979). Metabolic aspects of intermittent work with specific regard to ice hockey. *Canadian Journal Of Applied Sport Sciences*, 4(1), 29-34.

- Green, H. J., & Houston, M. E. (1975). Effect of a season of ice hockey on energy capacities and associated functions. *Medicine And Science In Sports*, 7(4), 299-303.
- Green, M. R., Pivarnik, J. M., Carrier, D. P., & Womack, C. J. (2006). Relationship between physiological profiles and on-ice performance of a National Collegiate Athletic Association Division I hockey team. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 20(1), 43-46.
- Greer, N., Serfass, R., Picconatto, W., & Blatherwick, J. (1992). The effects of a hockey-specific training program on performance of Bantam players. *Canadian Journal Of Sport Sciences*, 17(1), 65-69.
- Gualdi-Russo, E., & Zaccagni, L. (2001). Somatotype, role and performance in elite volleyball players. *The Journal Of Sports Medicine And Physical Fitness*, 41(2), 256-262.
- Güvenç, A., Açıkada, C., Aslan, A., & Ozer, K. (2011). Daily Physical Activity and Physical Fitness in 11-to 15-year-old Trained and Untrained Turkish Boys. *Journal Of Sports Science & Medicine*, 10(3), 502-514.
- Haff, G., & Triplett, N. T. (2016). *Essentials of strength training and conditioning* (4 ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hagan, R. D., Smith, M. G., & Gettman, L. R. (1981). *Marathon performance in relation to maximal aerobic power and training indices* (Vol. 13). doi: 10.1249/00005768-198103000-00007
- Haroun, D., Taylor, S. J. C., Viner, R. M., Hayward, R. S., Darch, T. S., Eaton, S., ... Wells, J. C. K. (2010). Validation of bioelectrical impedance analysis in adolescents across different ethnic groups. *Obesity (Silver Spring, Md.)*, 18(6), 1252-1259. doi: 10.1038/oby.2009.344

- Haug, R. C., Porcari, J. P., Brice, G., & Terry, L. (1999). Development of a maximal testing protocol for the NordicTrack cross-country ski simulator. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(4), 619-623.
- Haukali, E., & Tjelta, L. I. (2016). Relationship between off-season changes in power and in-season changes in skating speed in young ice hockey players. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 28(2), 111-122.
- Hauswirth, C., Bigard, A. X., & Le Chevalier, J. M. (1997). The Cosmed K4 telemetry system as an accurate device for oxygen uptake measurements during exercise. *International Journal Of Sports Medicine*, 18(6), 449-453.
- Hazir, T., Kose, M. G., & Kin-Isler, A. (2018). The validity of Running Anaerobic Sprint Test to assess anaerobic power in young soccer players. *Isokinetics & Exercise Science*, 26(3), 201-209.
- Heyward, V. H., & Wagner, D. R. (2004). *Applied body composition assessment* (2nd ed.). Champaign, IL.: Human Kinetics.
- Hinrichs, J. N. (1995). *Emg Activity of Ice Skating and Treadmill Skating in Hockey Players* (Vol. 5). doi: 10.1097/00042752-199510000-00047
- Hoffman, J. R., Epstein, S., Einbinder, M., & Weinstein, Y. (1999). The influence of aerobic capacity on anaerobic performance and recovery indices in basketball players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 13(4), 407-411.
- Houston, M. E., & Green, H. J. (1976). Physiological and anthropometric characteristics of elite Canadian ice hockey players. *The Journal Of Sports Medicine And Physical Fitness*, 16(2), 123-128.

- Hůlka, K., Bělka, J., Cuberek, R., & Schneider, O. (2014). Reliability of specific on-ice repeated-sprint ability test for ice-hockey players. *Acta Gymnica*, 44(2), 69-75. doi: 10.5507/ag.2014.007
- Jacobs, I., Bar-Or, O., Karlsson, J., Dotan, R., Tesch, P., Kaiser, P., & Inbar, O. (1982). Changes in muscle metabolites in females with 30s exhaustive exercise. *Medicine And Science In Sports And Exercise*, 14(6), 457-460.
- James, G. (2009). *Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual - Tests, Procedures and Data* (3rd (ed.) Vol. 2).
- Janot, J. M., Beltz, N. M., & Dalleck, L. D. (2015). Multiple Off-Ice Performance Variables Predict On-Ice Skating Performance in Male and Female Division III Ice Hockey Players. *Journal Of Sports Science & Medicine*, 14(3), 522-529.
- Jones, R. M., Cook, C. C., Kilduff, L. P., Milanović, Z., James, N., Sporiš, G., ... Vučković, G. (2013). Relationship between repeated sprint ability and aerobic capacity in professional soccer players. *The Scientific World Journal*, 2013, 952350-952350. doi: 10.1155/2013/952350
- Knechtle, B., Knechtle, P., Rüst, C. A., Senn, O., Rosemann, T., & Lepers, R. (2011). Predictor variables of performance in recreational male long-distance inline skaters. *Journal of Sports Sciences*, 29(9), 959-966.
- Koziris, L., & Montgomery, D. L. (1992). Power output and peak blood lactate concentration following intermittent and continuous cycling tests of anaerobic capacity. *Research in Sports Medicine*, 3, 289-296. doi: 10.1080/15438629209511956
- Kuisis, S. M. (2007). *Comparative validity of ice-skating performance tests to assess aerobic capacity*. University of Pretoria, Pretoria. Disponible dans ProQuest.

- Kutáč, P., & Sigmund, M. (2015). A Comparison of Somatic Variables of Elite Ice Hockey Players from the Czech ELH and Russian KHL. *Journal of Human Kinetics*, 45(1), 187-195.
- Lamb, D. R. (1995). Basic principles for improving sport performance. *Sports Science Exchange*, 8(2), 1-5.
- Lambertz, D., Mora, I., Grosset, J.-F., & Perot, C. (2003). Evaluation of musculotendinous stiffness in prepubertal children and adults, taking into account muscle activity. *Journal Of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 95(1), 64-72.
- Lamoureux, N. R., Tomkinson, G. R., Peterson, B. J., & Fitzgerald, J. S. (2018). Relationship Between Skating Economy and Performance During a Repeated-Shift Test in Elite and Subelite Ice Hockey Players. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 32(4), 1109-1113. doi: 10.1519/JSC.0000000000002418
- Larivière, G., & Godbout, P. (1976). *Mesure de la condition physique et de l'efficacité technique de joueurs de hockey sur glace : normes pour différentes catégories de joueurs*. Québec: Éditions du Pélican.
- Larivière, G., Godbout, P., & Lamontagne, M. (1991). *Physical fitness and technical skill appraisal of ice hockey players* (Canadian Hockey Association).
- Lariviere, G., La, V.-H., & Shephard, R. (1976). A simple skating test for ice hockey players. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, 1(3), 223-228.
- Laurent, C. M., Fullenkamp, A. M., Morgan, A. L., & Fischer, D. A. (2014). Power, fatigue, and recovery changes in national collegiate athletic association division I hockey players across a competitive season. *Journal Of Strength And*

Conditioning Research, 28(12), 3338-3345. doi:
10.1519/JSC.0000000000000554

Lavoie, J. M., & Leone, M. (1988). Functional maximal aerobic power and prediction of swimming performances. *Journal of Swimming Research*, 4(4), 17-19.

Lavoie, M. J., Léger, L., Leone, M., & Provencher, P. (1985). A maximal multistage swim test to determine the functional and maximal aerobic power of competitive swimmers. *The journal of swimming research*, 1 (2), 17-22.

Lee, C., Lee, S., & Yoo, J. (2014). The effect of a complex training program on skating abilities in ice hockey players. *Journal Of Physical Therapy Science*, 26(4), 533-537. doi: 10.1589/jpts.26.533

Léger, L. (1980). Le hockey sur glace. Dans M. Nadeau, & F. Péronnet (Éds.), *Physiologie appliquée de l'activité physique* (pp. 115-129). St-Hyacinthe: Edisem.

Léger, L. (1996). *Aerobic performance* (Docherty, D (ed)). Champaign, IL: Human Kinetics.

Léger, L., Kuisis, S., Bekraoui, N., Arthur, L., & Herden J, V. (2007, July 11-14, 2007). *Validity of 3 ice skating aerobic field tests for hockey players*. Communication présentée au 12th Annual Congress of the European College of Sport Science, Finland.

Léger, L., & Mercier, D. (1984). Gross energy cost of horizontal treadmill and track running. *Sports Medicine*, 1(4), 270-277.

- Léger, L., Seliger, V., & Brassard, L. (1979). Comparisons among VO₂ max values for hockey players and runners. *Canadian Journal Of Applied Sport Sciences*, 4(1), 18-21.
- Léger, L., Seliger, V., & Brassard, L. (1980). Backward extrapolation of VO₂max values from the O₂ recovery curve. *Medicine And Science In Sports And Exercise*, 12(1), 24-27.
- Léger, L. A., & Lambert, J. (1982). A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO₂ max. *European Journal Of Applied Physiology And Occupational Physiology*, 49(1), 1-12.
- Léger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, 6(2), 93-101.
- Leger, L. A., Montpetit, R. R., Lambert, J., & Chartrand, D. (1982). Retroextrapolation of submaximal Vo₂ values from O₂ recovery curve. *Scandinavian Journal of Sports Sciences*, 4(2), 71-73.
- Leone, M., Comtois, A. S., Tremblay, F., & Leger, L. (2006). Specificity of running speed and agility in competitive junior tennis players. *Journal of medicine and science in tennis*, 11, 10-11.
- Leone, M., Lariviere, G., & Comtois, A. S. (2002). Discriminant analysis of anthropometric and biomotor variables among elite adolescent female athletes in four sports. *Journal of Sports Sciences*, 20(6), 443-449.
- Leone, M., & Léger, L. (1985). Épreuves d'endurance musculaire à rythme imposé. *Canadian Association for Health, Physical Education and Recreation*, 55, 27-33.

- Leone, M., Léger, L. A., Larivière, G., & Comtois, A. S. (2007). An on-ice aerobic maximal multistage shuttle skate test for elite adolescent hockey players. *International Journal Of Sports Medicine*, 28(10), 823-828.
- Lignell, E., Fransson, D. A. N., Mohr, M., & Krstrup, P. (2018). Analysis of high-intensity skating in top-class ice hockey match-play in relation to training status and muscle damage. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(5), 1303-1310.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., & De Ste Croix, M. B. A. (2014). Chronological age vs. biological maturation: implications for exercise programming in youth. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(5), 1454-1464.
- Lohman, T. G., Roche, A. F., & Martorell, R. (1988). *Anthropometric standardization reference manual*. Champaign, Ill.: Human Kinetics Books.
- Losnegard, T., Schäfer, D., & Hallén, J. (2014). Exercise economy in skiing and running. *Frontiers In Physiology*, 5, 5-5. doi: 10.3389/fphys.2014.00005
- Lowery, M. R., Tomkinson, G. R., Peterson, B. J., & Fitzgerald, J. S. (2018). The relationship between ventilatory threshold and repeated-sprint ability in competitive male ice hockey players. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 16(1), 32-36.
- Macek, M., & Vavra, J. (1980). Adjustment of oxygen uptake at the onset of exercise: a comparison between prepubertal boys and young adults. *International Journal of Sports Medicine*, 1(2), 70-72.
- Mala, L., Maly, T., Zahalka, F., & Hrasky, P. (2015). Body composition of elite youth soccer players with respect to field position. *Journal of Physical Education & Sport*, 15(4), 678-684.

- Malina, R. M., Eisenmann, J. C., Cumming, S. P., Ribeiro, B., & Aroso, J. (2004). Maturity-associated variation in the growth and functional capacities of youth football (soccer) players 13-15 years. *European Journal Of Applied Physiology*, *91*(5-6), 555-562.
- Malina, R. M., Meleski, B. W., & Shoup, R. F. (1982). Anthropometric, body composition, and maturity characteristics of selected school-age athletes. *Pediatric Clinics Of North America*, *29*(6), 1305-1323.
- Margaria, R., Edwards, H. T., & Dill, D. B. (1933). The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the rôle of lactic acid in muscular contraction. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, *106*(3), 689-715. doi: 10.1152/ajplegacy.1933.106.3.689
- Margaria, R. P., Cerretelli, P., Aghemo, P., & Sassi, G. (1963). *Energy cost of running* (Vol. 18). doi: 10.1152/jappl.1963.18.2.367
- Marino, G. W. (1984). Analysis of selected factors in the ice skating strides of adolescents. *Canadian Association for Health, Physical Education and Recreation*, *50*(3), 4-8.
- Marion, G. A., & Léger, L. A. (1988). Energetics of indoor track cycling in trained competitors. *International Journal of Sports Medicine*, *9*(3), 234-239.
- Mascaro, T., Seaver, B. L., & Swanson, L. (1992). Prediction of skating speed with off-ice testing in professional hockey players. *The Journal Of Orthopaedic And Sports Physical Therapy*, *15*(2), 92-98.
- Matthews, M. J., Comfort, P., & Crebin, R. (2010). Complex training in ice hockey: the effects of a heavy resisted sprint on subsequent ice-hockey sprint performance. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, *24*(11), 2883-2887. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e7253c

- Mc Naughton, L. R., Thompson, D., Philips, G., Backx, K., & Crickmore, L. (2002). A comparison of the lactate Pro, Accusport, Analox GM7 and Kodak Ektachem lactate analysers in normal, hot and humid conditions. *International Journal Of Sports Medicine*, 23(2), 130-135.
- McGawley, K., & Bishop, D. J. (2014). *Oxygen uptake during repeated-sprint exercise* (Vol. 18). doi: 10.1016/j.jsams.2014.02.002
- McLaughlin, J. E., King, G. A., Howley, E. T., Bassett, D. R., Jr., & Ainsworth, B. E. (2001). Validation of the COSMED K4b2 portable metabolic system. *International Journal Of Sports Medicine*, 22(4), 280-284.
- McMahon, S., & Jenkins, D. (2002). Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 32(12), 761-784.
- Meckel, Y., Machnai, O., & Eliakim, A. (2009). Relationship among repeated sprint tests, aerobic fitness, and anaerobic fitness in elite adolescent soccer players. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 23(1), 163-169. doi: 10.1519/JSC.0b013e31818b9651
- Menier, D. R., & Pugh, L. G. (1968). The relation of oxygen intake and velocity of walking and running, in competition walkers. *The Journal Of Physiology*, 197(3), 717-721.
- Meylan, C., Cronin, J., Oliver, J., & Hughes, M. (2010). Reviews: Talent Identification in Soccer: The Role of Maturity Status on Physical, Physiological and Technical Characteristics. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 5(4), 571-592.
- Michael, J. S., Rooney, K. B., & Smith, R. (2008). The metabolic demands of kayaking: A review. *Journal of Sports Science & Medicine*, 7(1), 1-7.

- Milić, M., Grgantov, Z., Chamari, K., Ardigò, L. P., Bianco, A., & Padulo, J. (2017). Anthropometric and physical characteristics allow differentiation of young female volleyball players according to playing position and level of expertise. *Biology Of Sport*, 34(1), 19-26. doi: 10.5114/biolSport.2017.63382
- Mirwald, R., Baxter-Jones, A., Bailey, D., & P Beunen, G. (2002). *An assessment of maturity from anthropometric measurements* (Vol. 34). doi: 10.1097/00005768-200204000-00020
- Molenaar, C., Geithner, C., Henriksson, T., Fjellman Wiklund, A., & Gilenstam, K. (2015). *The Relative Age Effect in Women's Ice Hockey: International and Positional Comparisons* (Vol. 47). doi: 10.1249/01.mss.0000478433.02353.1a
- Montgomery, D. L. (1988). Physiology of ice hockey. *Sports Medicine*, 5(2), 99-126.
- Montgomery, D. L. (2006). Physiological profile of professional hockey players : a longitudinal comparison. *Applied Physiology, Nutrition, And Metabolism*, 31(3), 181-185.
- Montgomery, D. L., Nobes, K., Pearsall, D. J., & Turcotte, R. A. (2004). Task Analysis (Hitting, Shooting, Passing, and Skating) of Professional Hockey Players. Dans A. B. Ashare, & D. J. Pearsall (Éds.), (pp. 288-295). West Conshohocken, PA: ASTM International. doi: 10.1520/STP11626S
- Montgomery, L. L., Turcotte, R., Gamble, F. W., & Ladouceur, G. (1990). Validation of a cycling test of anaerobic endurance for ice hockey players. *Sports Training, Medicine & Rehabilitation*, 2(1), 11-22.
- Montpetit, R. R., Binette, P., & Taylor, A. W. (1979). Glycogen depletion in a game-simulated hockey task. *Canadian Journal Of Applied Sport Sciences*, 4(1), 43-45.

- Montpetit, R. R., Léger, L. A., Lavoie, J. M., & Cazorla, G. (1981). VO₂ peak during free swimming using the backward extrapolation of the O₂ recovery curve. *European Journal Of Applied Physiology And Occupational Physiology*, 47(4), 385-391.
- Mooney, A., Kelsey, L., Fellingham, G., George, J., Hager, R., Myrer, J. W., & Vehrs, P. (2011). Assessing Body Composition of Children and Adolescents Using Dual-Energy X-Ray Absorptiometry, Skinfolds, and Electrical Impedance. *Measurement in Physical Education & Exercise Science*, 15(1), 2-17.
- Moritani, T., Oddsson, L., Thorstensson, A., & Astrand, P. O. (1989). Neural and biomechanical differences between men and young boys during a variety of motor tasks. *Acta Physiologica Scandinavica*, 137(3), 347-355.
- Nick, D., & Whyte, G. (1997). Anaerobic Performance Testing. *Peak Performance*, 87.
- Nightingale, S. (2013). The validity and reliability of a novel on-ice test for ice hockey players. *Professional Strength and Conditioning*, 15-18.
- Nightingale, S. C., Miller, S., & Turner, A. (2013). The Usefulness and Reliability of Fitness Testing Protocols for Ice Hockey Players: A Literature Review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(6), 1742-1748. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182736948
- Nobes, K. J., Montgomery, D. L., Pearsall, D. J., Turcotte, R. A., Lefebvre, R., & Whittom, F. (2003). A comparison of skating economy on-ice and on the skating treadmill. *Canadian Journal Of Applied Physiology*, 28(1), 1-11.
- Nolan, J. E., & Howell, G. (2010). Hockey success and birth date: The relative age effect revisited. *International Review for the Sociology of Sport*, 45(4), 507-512.

- Noonan, B., Mack, G., & Stachenfeld, N. (2007). The effects of hockey protective equipment on high-intensity intermittent exercise. *Medicine And Science In Sports And Exercise*, 39(8), 1327-1335.
- Noonan, B. C. (2010). Intragame blood-lactate values during ice hockey and their relationships to commonly used hockey testing protocols. *Journal of strength and conditioning research*, 24(9), 2290. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e99c4a
- OMS. (1995). Physical status: the use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO Expert Committee. *World Health Organization Technical Report Series*, 854, 1-452.
- Overstreet, B. S., Bassett, D. R., Jr., Crouter, S. E., Rider, B. C., & Parr, B. B. (2017). Portable open-circuit spirometry systems. *The Journal Of Sports Medicine And Physical Fitness*, 57(3), 227-237. doi: 10.23736/S0022-4707.16.06049-7
- Pearsall, D., Turcotte, R., & Murphy, S. D. (2000). Biomechanics of ice hockey. *Exercise and Sport Science*, 675-692.
- Peterson, B. J., Fitzgerald, J. S., Dietz, C. C., Ziegler, K. S., Baker, S. E., & Snyder, E. M. (2016). Off-Ice Anaerobic Power Does Not Predict On-Ice Repeated Shift Performance in Hockey. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(9), 2375-2381. doi: 10.1519/jsc.0000000000001341
- Peterson, B. J., Fitzgerald, J. S., Dietz, C. C., Ziegler, K. S., Ingraham, S. J., Baker, S. E., & Snyder, E. M. (2015). Aerobic capacity is associated with improved repeated shift performance in hockey. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(6), 1465-1472.
- Petrella, N. J., Montelpare, W. J., Nystrom, M., Plyley, M., & Faught, B. E. (2007). Validation of the FAST skating protocol to predict aerobic power in ice hockey

players. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 32(4), 693-700. doi: 10.1139/H07-057

Peyer, K. L., Pivarnik, J. M., Eisenmann, J. C., & Vorkapich, M. (2011). Physiological characteristics of National Collegiate Athletic Association Division I ice hockey players and their relation to game performance. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 25(5), 1183-1192. doi: 10.1519/JSC.0b013e318217650a

Phomsoupha, M., Berger, Q., & Laffaye, G. (2018). Multiple Repeated Sprint Ability Test for Badminton Players Involving Four Changes of Direction: Validity and Reliability (Part 1). *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 32(2), 423-431. doi: 10.1519/JSC.0000000000002307

Pinnington, H. C., Wong, P., Tay, J., Green, D., & Dawson, B. (2001). The level of accuracy and agreement in measures of FEO₂, FECO₂ and VE between the Cosmed K4B2 portable, respiratory gas analysis system and a metabolic cart. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 4(3), 324-335.

Pion, J., Segers, V., Franssen, J., Debuyck, G., Deprez, D., Haerens, L., ... Lenoir, M. (2015). Generic anthropometric and performance characteristics among elite adolescent boys in nine different sports. *European Journal Of Sport Science*, 15(5), 357-366. doi: 10.1080/17461391.2014.944875

Potteiger, A. J., Smith, L. D., Maier, L. M., & Foster, S. T. (2010). Relationship Between Body Composition, Leg Strength, Anaerobic Power, and On-Ice Skating Performance in Division I Men's Hockey Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(7), 1755-1762. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e06cfb

Power, A., Faught, B. E., Przysucha, E., McPherson, M., & Montelpare, W. (2012). Establishing the Test–Retest Reliability & Concurrent Validity for the Repeat Ice Skating Test (RIST) in Adolescent Male Ice Hockey Players. *Measurement*

in *Physical Education & Exercise Science*, 16(1), 69-80. doi: 10.1080/1091367X.2012.639618

- Putman, C. T., Jones, N. L., Lands, L. C., Bragg, T. M., Hollidge-Horvat, M. G., & Heigenhauser, G. J. (1995). Skeletal muscle pyruvate dehydrogenase activity during maximal exercise in humans. *The American Journal Of Physiology*, 269(3 Pt 1), E458-E468.
- Pyne, D. B., Boston, T., Martin, D. T., & Logan, A. (2000). Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. *European Journal Of Applied Physiology*, 82(1-2), 112-116.
- Pyne, D. B., Saunders, P. U., Montgomery, P. G., Hewitt, A. J., & Sheehan, K. (2008). Relationships between repeated sprint testing, speed, and endurance. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 22(5), 1633-1637. doi: 10.1519/JSC.0b013e318181fe7a
- Queiroga, M., Cavzotto, T., Katayama, K., Portela, B., Peikriszwili Tartaruga, M., & Ferreira, S. (2013). Validity of the RAST for evaluating anaerobic power performance as compared to Wingate test in cycling athletes. *Motriz. Revista de Educação Física*, 19, 696-702. doi: 10.1590/S1980-65742013000400005
- Quinney, H. A., Dewart, R., Game, A., Snyder, G., Warburton, D., & Bell, G. (2008). A 26 year physiological description of a National Hockey League team. *Applied Physiology, Nutrition, And Metabolism*, 33(4), 753-760. doi: 10.1139/H08-051
- Quistorff, B., Johansen, L., & Sahlin, K. (1993). Absence of phosphocreatine resynthesis in human calf muscle during ischaemic recovery. *The Biochemical Journal*, 291 (Pt 3), 681-686.
- Rampinini, E., Sassi, A., Morelli, A., Mazzoni, S., Fanchini, M., & Coutts, A. J. (2009). Repeated-sprint ability in professional and amateur soccer players. *Applied*

Physiology, Nutrition, And Metabolism, 34(6), 1048-1054. doi: 10.1139/H09-111

Reed, A., Hansen, H., Cotton, C., Gauthier, R., Jette, M., Thoden, J., & Wenger, H. (1979). Development and validation of an on-ice hockey fitness test. *Canadian Journal of Applied Sport Science*, 4(4), 245.

Reiman, M. P., & Manske, R. C. (2009). *Functional testing in human performance*. Champaign, III.: Human Kinetics.

Rhodes, E. C., Cox, M. H., & Quinney, H. A. (1987). 274: Comparison of national hockey league regular players on selected physiological parameters. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 19, S46. doi: 10.1249/00005768-198704001-00274

Rhodes, T. (1990). *The physiology of ice hockey a testing and training manual*. Vancouver University of British Columbia.

Robertson, S., & Way, R. (2005). Long-Term Athlete Development: A Made-in-Canada Model. *Entraininfo*, 11(3), 6-12.

Roczniok, R., Stanula, A., Maszczyk, A., Mostowik, A., Kowalczyk, M., Fidos-Czuba, O., & Zajac, A. (2016). Physiological, physical and on-ice performance criteria for selection of elite ice hockey teams. *Biology Of Sport*, 33(1), 43-48. doi: 10.5604/20831862.1180175

Rohrer, F. (1921). *Der Index der Körperfülle als Mass des Ernährungszustandes* (Vol. 68).

Runner, A. R., Lehnhard, R. A., Butterfield, S. A., Tu, S., & O'Neill, T. (2016). Predictors of Speed Using Off-Ice Measures of College Hockey Players.

Journal Of Strength And Conditioning Research, 30(6), 1626-1632. doi: 10.1519/JSC.0000000000000911

Ryan-Stewart, H., Faulkner, J., & Jobson, S. (2018). The influence of somatotype on anaerobic performance. *Plos One*, 13(5). doi: 10.1371/journal.pone.0197761

Saha, S. (2015). Morphological Characteristics and Explosive Power of Athlete and Non-Athlete. *Archives of Exercise in Health & Disease*, 5(1/2), 354-358.

Saltin, B., Gagge, A. P., Bergh, U., & Stolwijk, J. A. (1972). Body temperatures and sweating during exhaustive exercise. *Journal Of Applied Physiology*, 32(5), 635-643.

Sammoud, S., Nevill, A. M., Negra, Y., Bouguezzi, R., Chaabene, H., & Hachana, Y. (2018). Allometric associations between body size, shape, and 100-m butterfly speed performance. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 58(5), 630-637. doi: 10.23736/S0022-4707.17.07480-1

Seliger, V., Kostka, V., Grusová, D., Kovác, J., Machovcová, J., Pauer, M., ... Urbánková, R. (1972). Energy expenditure and physical fitness of ice-hockey players. *Internationale Zeitschrift Fur Angewandte Physiologie, Einschliesslich Arbeitsphysiologie*, 30(4), 283-291.

Serresse, O., Ama, P. F., Simoneau, J. A., Lortie, G., Bouchard, C., & Boulay, M. R. (1989). Anaerobic performances of sedentary and trained subjects. *Canadian Journal Of Sport Sciences*, 14(1), 46-52.

Shaharudin, S., & Agrawal, S. (2016). Muscle synergies during incremental rowing VO₂max test of collegiate rowers and untrained subjects. *The Journal Of Sports Medicine And Physical Fitness*, 56(9), 980-989.

- Shell, J. R., Robbins, S. M. K., Dixon, P. C., Renaud, P. J., Turcotte, R. A., Wu, T., & Pearsall, D. J. (2017). Skating start propulsion: three-dimensional kinematic analysis of elite male and female ice hockey players. *Sports Biomechanics*, *16*(3), 313-324. doi: 10.1080/14763141.2017.1306095
- Sherar, L. B., Baxter-Jones, A. D. G., Faulkner, R. A., & Russell, K. W. (2007). Do physical maturity and birth date predict talent in male youth ice hockey players? *Journal Of Sports Sciences*, *25*(8), 879-886.
- Snyder, E., Biltz, G., Lewis, B., Warpeha, J., & Peterson, B. (2014). *Repeated Sprint Ability: The Influence of Aerobic Capacity on Energy Pathway Response and Fatigue of Hockey Players*. : ProQuest Dissertations Publishing.
- Stanula, A., Rocznik, R., Maszczyk, A., Pietraszewski, P., & Zajac, A. (2014). The role of aerobic capacity in high-intensity intermittent efforts on ice-hockey. *Biology Of Sport*, *31*(3), 193-199. doi: 10.5604/20831862.1111437
- Steeves, D., & Campagna, P. (2018). The Relationship Between Maximal Aerobic Power and Recovery in Elite Ice Hockey Players During a Simulated Game. *Journal Of Strength And Conditioning Research*. doi: 10.1519/JSC.0000000000002506
- Stetter, B. J., Buckeridge, E., von Tscharnher, V., Nigg, S. R., & Nigg, B. M. (2016). A Novel Approach to Determine Strides, Ice Contact, and Swing Phases During Ice Hockey Skating Using a Single Accelerometer. *Journal of Applied Biomechanics*, *32*(1), 101-106.
- Stevens, G. H. J., & Wilson, B. W. (1986). Aerobic contribution to the wingate test. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *18*. doi: 10.1249/00005768-198604001-00007

- Stidwill, T. J., Pearsall, D., & Turcotte, R. (2010). Comparison of skating kinetics and kinematics on ice and on a synthetic surface. *Sports Biomechanics*, 9(1), 57-64. doi: 10.1080/14763141003690237
- Szabo, S., Doka, J., Apor, P., & Somogyvari, K. (1972). Relationship between bone age, functional anthropometric data and aerobic capacity. *Schweizerische Zeitschrift fuer Sportmedizin*, 20(3), 109-115.
- Szmatlan-Gabrys, U. B., Gabrys, T. T., & Stanula, A. (2018). Character of Relationship between Somatic Coefficients and Physiological Parameters the 15-17 Year Old Ice-Hockey Players. *Society integration education*, 4, 293. doi: 10.17770/sie2018vol1.3198
- Tanaka, H., Bassett, D. R., Swensen, T. C., & Sampedro, R. M. (1993). Aerobic and anaerobic power characteristics of competitive cyclists in the United States Cycling Federation. *International Journal of Sports Medicine*, 14(6), 334-338.
- Tanita. (2013). *Instruction manual - Body composition analyser goal setter*.
- Tarter, B. C., Kirisci, L., Tarter, R. E., Weatherbee, S., Jamnik, V., McGuire, E. J., & Gledhill, N. (2009). Use of aggregate fitness indicators to predict transition into the National Hockey League. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 23(6), 1828-1832. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b4372b
- Tesch, P. (1987). *Acute and long-term metabolic changes consequent to heavy-resistance exercise* (Vol. 26).
- Thevenet, D., Tardieu-Berger, M., Berthoin, S., & Prioux, J. (2007). Influence of recovery mode (passive vs. active) on time spent at maximal oxygen uptake during an intermittent session in young and endurance-trained athletes. *European Journal Of Applied Physiology*, 99(2), 133-142.

- Tomlin, D. L., & Wenger, H. A. (2002). The relationships between aerobic fitness, power maintenance and oxygen consumption during intense intermittent exercise. *Journal Of Science And Medicine In Sport*, 5(3), 194-203.
- Triplett, A. N., Ebbing, A. C., Green, M. R., Connolly, C. P., Carrier, D. P., & Pivarnik, J. M. (2018). Changes in Collegiate Ice Hockey Player Anthropometrics and Aerobic Fitness Over Three Decades. *Applied Physiology, Nutrition, And Metabolism*. doi: 10.1139/apnm-2017-0789
- Trump, M. E., Heigenhauser, G. J., Putman, C. T., & Spriet, L. L. (1996). Importance of muscle phosphocreatine during intermittent maximal cycling. *Journal Of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 80(5), 1574-1580.
- Turcotte, R., Pearsall, D., Montgomery, D. L., Lefebvre, R., Ofir, D., & Loh, J. J. (2004). *Comparison of ice versus treadmill skating - Plantar force distribution patterns*.
- Twist, P. (2013). Choosing a training program specific to the individual. *Ontario Hockey Now*, 15(6), 6-6.
- Unnithan, V. B., Wilson, J., Buchanan, D., Timmons, J. A., & Paton, J. Y. (1994). Validation of the sormedics (S2900Z) metabolic cart for pediatric exercise testing. *Canadian Journal Of Applied Physiology*, 19(4), 472-479.
- Vaeyens, R., Malina, R. M., Janssens, M., Van Renterghem, B., Bourgois, J., Vrijens, J., & Philippaerts, R. M. (2006). A multidisciplinary selection model for youth soccer: the Ghent Youth Soccer Project. *British Journal Of Sports Medicine*, 40(11), 928-934.
- Vescovi, J. D., Murray, T. M., Fiala, K. A., & VanHeest, J. L. (2006a). Off-ice performance and draft status of elite ice hockey players. *International Journal Of Sports Physiology And Performance*, 1(3), 207-221.

- Vescovi, J. D., Murray, T. M., & Vanheest, J. L. (2006b). Positional performance profiling of elite ice hockey players. *International Journal Of Sports Physiology And Performance*, *1*(2), 84-94.
- Watson, A. W. (1988). Discriminant analysis of the physiques of schoolboy rugby players, hurlers and non-team members. *Journal Of Sports Sciences*, *6*(2), 131-140.
- Watson, R. C., & Sargeant, T. L. C. (1986). Laboratory and on-ice test comparisons of anaerobic power of ice hockey players. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, *11*(4), 218-224.
- Zagatto, A., Beck, W., & Gobatto, C. (2009). Validity of the Running Anaerobic Sprint Test for Assessing Anaerobic Power and Predicting Short-Distance Performances. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, *23*, 1820-1827. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b3df32
- Zamparo, P., Capelli, C., & Pendergast, D. (2011). Energetics of swimming: a historical perspective. *European Journal Of Applied Physiology*, *111*(3), 367-378. doi: 10.1007/s00421-010-1433-7

