

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

CRÉATION D'UN TEST CONTINU PROGRESSIF PAR PALIERS SUR GLACE
POUR LE PATINAGE DE VITESSE COURTE PISTE

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR
FANIE ST-JEAN MIRON

AOÛT 2019

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

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

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mes collègues du département des sciences de l'activité physique de l'UQAM pour m'avoir aidé à monter ce projet depuis l'idée initiale qui me trottait en tête. Merci à Andrée-Anne Parent de m'avoir accompagné et guidé lors du projet pilote. Merci à Alain Steve Comtois pour l'encadrement et l'aide lors des nombreuses prises de données avec ce projet (et le *fun* sur la glace!). Merci à Gilles Gouspillou pour l'aide apportée au niveau du traitement de données et à Julie Faitg pour le casse-tête papier. Merci à Carole Roy pour la gestion de tout l'équipement. Merci à mes assistants Emily Walsh, Bianca Marois et Victor Fabbri pour l'aide durant les prises de données.

Je tiens également à remercier les spécialistes de l'Institut National du Sport du Québec et les entraîneurs de Patinage de Vitesse Canada qui m'ont aidé dans l'établissement de certains paramètres spécifiques pour la création du test, pour m'avoir fait confiance et pour avoir cru en la pertinence du projet. Merci à Benoît Lussier, Laurent Daignault, Derrick Campbell, Jonathon Cavar, Jeffrey Scholten, Marc-André Monette, François Bieuzen, Marc Gagnon, Mathieu Larivière-Lord, Jonathan Perez-Audy et Sebastien Cros.

Pour terminer, un énorme merci à tous les athlètes patineurs ayant pris part au projet.

Sans vous tous, la réalisation de ce projet n'aurait pas pu avoir eu lieu.

AVANT-PROPOS

Le présent projet de recherche a commencé à prendre forme alors que j'étais encore au baccalauréat en kinésiologie. Je suivais à ce moment un cours d'évaluation de la performance et exécutais en parallèle un stage à l'Institut National du Sport du Québec en analyse biomécanique et analyse des performances pour le patinage de vitesse courte piste. Plus j'approfondissais mes connaissances dans le domaine et plus je me rendais compte que le domaine du courte piste manquait d'outil d'évaluation spécifique à sa discipline. En effet, les capacités cardiorespiratoires des patineurs de vitesse sont majoritairement évaluées lors d'épreuves sur ergocycle. Il apparaissait donc très pertinent de développer un nouveau test qui serait spécifique au patinage de vitesse courte piste. J'ai donc pris l'initiative de lancer le projet dans le cadre d'un travail pour le cours d'évaluation de la performance, avec l'encadrement et la précieuse aide de mes professeurs et collègues. Le succès de la réalisation du projet pilote testé sur deux athlètes de l'équipe de développement nationale ayant eu lieu en décembre 2015 nous a confirmé qu'il fallait mener ce projet plus loin. Ainsi, ce plan de recherche est devenu le présent sujet de maîtrise, ayant comme but de valider ce nouveau test avec un plus grand nombre de patineurs et de comparer les résultats avec un test exécuté sur ergocycle, normalement utilisé dans le milieu. La validation de ce test deviendrait très utile pour les fédérations de patinage de vitesse courte piste qui auraient enfin accès à un outil d'évaluation de la performance spécifique pour ces athlètes.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	ii
AVANT-PROPOS	iii
TABLE DES MATIÈRES	iv
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	xiii
LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS.....	xiv
RÉSUMÉ.....	1
INTRODUCTION.....	2
CHAPITRE I MISE EN CONTEXTE	3
1.1 Introduction	3
1.2 Problématique.....	6
1.2.1 Pertinence scientifique	6
1.2.2 Pertinence pratique.....	7
1.2.3 Objectifs de recherche.....	8
1.2.4 Hypothèse.....	9
CHAPITRE II RECENSION DES ÉCRITS	12
2.1 Tests traditionnels de PAM et de VAM	12
2.2 Test d'évaluation aérobie spécifique hors glace.....	13
2.3 Test d'évaluation aérobie spécifique sur glace.....	15
2.4 Biomécanique du mouvement en patinage de vitesse courte piste.....	16

2.5	Paramètres permettant d'évaluer la capacité aérobie	18
2.5.1	Le VO ₂ max.....	19
2.5.2	Les fréquences cardiaques.....	20
2.5.3	Le ratio d'échange respiratoire.....	21
2.5.4	La lactatémie	22
2.5.5	La ventilation	23
2.5.6	L'oxymétrie musculaire	25
2.5.7	La perception de l'effort.....	26
2.6	Demandes physiologiques spécifiques au patinage de vitesse courte piste .	27
CHAPITRE III MÉTHODOLOGIE.....		29
3.1	Description du test sur glace.....	29
3.2	Mesures	33
3.3	Matériel d'évaluation utilisé.....	34
3.4	Participants	35
3.5	Procédures	36
3.5.1	Procédures avant le test sur glace.....	37
3.5.2	Déroulement du test de paliers progressifs sur glace pour patinage de vitesse courte piste	39
3.5.3	Procédures avant le test sur ergocycle	41
3.5.4	Déroulement du test sur ergocycle.....	42
3.6	Mesures de sécurité	43
3.7	Limites.....	45
3.8	Analyses statistiques.....	47
CHAPITRE IV RÉSULTATS.....		48
4.1	Participants	48
4.2	Résultats des paramètres cardiorespiratoires obtenus au test sur glace par palier	49
4.2.1	La consommation d'oxygène au test sur glace	49
4.2.2	Équation pour l'estimation du VO ₂ max selon le dernier palier complété lors de la passation du test sur glace	51
4.2.3	Les fréquences cardiaques au test sur glace.....	52

4.2.4	Le volume courant au test sur glace.....	53
4.2.5	La fréquence respiratoire au test sur glace.....	53
4.2.6	La ventilation au test sur glace.....	54
4.2.7	Le ratio d'échange respiratoire au test sur glace	55
4.2.8	L'oxymétrie musculaire au test sur glace.....	56
4.2.9	La perception de l'effort au test sur glace.....	60
4.2.10	La lactatémie post-effort au test sur glace.....	60
4.3	Comparaison des valeurs maximales des paramètres cardiorespiratoires obtenus entre le test sur glace et celui sur ergocycle.....	61
4.3.1	Comparaison des valeurs maximales de consommation d'oxygène obtenues entre les deux tests.....	61
4.3.2	Le VO ₂ max selon le niveau compétitif de l'athlète	64
4.3.3	Comparaison des valeurs maximales des autres paramètres cardiorespiratoires obtenus entre les deux tests.....	65
4.4	Comparaison des valeurs des paramètres cardiorespiratoires obtenus à travers les incréments des deux tests.....	66
4.4.1	La consommation d'oxygène à travers les incréments des deux tests maximaux	66
4.4.2	Les fréquences cardiaques et le pouls d'oxygène atteints à travers les incréments des deux tests maximaux.....	67
4.4.3	Le volume courant à travers les incréments des deux tests maximaux.....	70
4.4.4	Les fréquences respiratoires atteintes à travers les incréments des deux tests maximaux.....	71
4.4.5	La ventilation à travers les incréments des deux tests maximaux.....	72
4.4.6	Le ratio d'échange respiratoire (RER) atteint à travers les incréments des deux tests maximaux.....	76
4.4.7	L'oxygénation musculaire des membres inférieurs à travers les incréments des deux tests maximaux, ainsi que durant la récupération post-effort	77
4.4.8	La concentration de lactate sanguin durant la récupération post-effort des deux tests maximaux	80
CHAPITRE V DISCUSSION		82
5.1	Comparaison des résultats obtenus entre les deux tests	82

5.1.1	Comparaison de la consommation d'oxygène	82
5.1.2	Comparaison des fréquences cardiaques.....	84
5.1.3	Comparaison du volume courant	85
5.1.4	Comparaison des fréquences respiratoires	86
5.1.5	Comparaison de la ventilation.....	86
5.1.6	Comparaison du ratio d'échange respiratoire	88
5.1.7	Comparaison de l'oxygénation musculaire	89
5.1.8	Comparaison de la perception de l'effort.....	92
5.1.9	Comparaison des concentrations de lactate post-effort.....	93
5.2	Validation du test sur glace	94
5.2.1	Atteinte des valeurs maximales.....	94
5.2.2	La durée du test	95
5.2.3	Tableau d'estimation du VO ₂ max sur glace.....	96
5.3	Tableau d'équivalences de charge de travail entre vitesse de patinage et puissance sur ergocycle	98
CHAPITRE VI CONCLUSION		102
ANNEXE A FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (MAJEURS).....		105
ANNEXE B FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (MINEURS)		111
ANNEXE C FICHE DES PARTICIPANTS.....		118
ANNEXE D ÉCHELLE DE BORG.....		121
ANNEXE E CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE		122
BIBLIOGRAPHIE		123

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Angles et forces gravitationnelles appliquées au patineur à différents endroits dans les virages en patinage de vitesse courte piste (Tiré de Coyle, 2010)	4
Figure 1.2 Position en patinage de vitesse avec fermeture hanche-tronc et flexion des genoux, image provenant de (Doutreleau, 2011).	10
Figure 2.1 Mouvement de croisement des membres inférieurs lors d'un virage en courte piste à une vitesse de patinage (33,4 km/h ; 12 s/tour) permettant de n'exécuter que 2 croisements par virage.....	17
Figure 3.1 Progression linéaire pour une incrémentation de 0,6 km/h par palier	31
Figure 3.2 Schéma de la glace olympique de courte piste avec les 4 cônes	32
Figure 3.3 Schéma de la procédure expérimentale à travers le temps	36
Figure 4.1 Consommation d'oxygène en absolu (A) (L/min) et en relatif (B) (ml/kg/min) selon les vitesses de patinage.....	51
Figure 4.2 Courbes des moyennes d'oxygénation musculaire des membres inférieurs atteintes (moyennées aux 10 dernières secondes de chaque palier) par palier lors du test sur glace	58
Figure 4.3 Courbes des moyennes d'oxygénation musculaire des membres inférieurs pour à chaque 30 s pendant 3 min post-effort du test sur glace	59
Figure 4.4 Différences entre les VO ₂ max absolu (A) et relatif (B) atteints lors des deux tests. L'astérisque représente une différence significative (p=0,0000) par rapport au VO ₂ max sur ergocycle.....	62
Figure 4.5 Le VO ₂ max absolu sur glace en fonction du VO ₂ max absolu sur ergocycle.	63
Figure 4.6 Différence entre les valeurs de VO ₂ max atteinte sur glace et ergocycle respectivement en relation avec le VO ₂ max moyen des deux mesures atteintes sur glace et sur ergocycle.	64

- Figure 4.7 Courbes des moyennes de consommation d'oxygène (VO_2) en absolue (L/min) des participants selon la vitesse de patinage (A) et la puissance (B) (moyennées 10 s avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement. 66
- Figure 4.8 Courbes des moyennes de fréquences cardiaques (FC) des participants selon la vitesse de patinage (A) et la puissance (B) (moyennées 10s avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement..... 68
- Figure 4.9 Courbes des moyennes de FC (bpm) des participants selon la consommation d'oxygène (L/min) aux tests maximaux jusqu'à épuisement..... 69
- Figure 4.10 Courbes des pouls d'oxygène (ml/batt) des participants selon la consommation d'oxygène (L/min) aux tests maximaux jusqu'à épuisement 70
- Figure 4.11 Courbes des moyennes de volume courant (L) des participants selon la vitesse de patinage et la résistance de pédalage (moyennées 10s avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement..... 71
- Figure 4.12 Courbes des moyennes de fréquences respiratoires (FR) des participants selon la vitesse de patinage et la résistance de pédalage (moyennées 10s avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement 72
- Figure 4.13 Courbes des moyennes de ventilation (L/min) des participants selon la vitesse de patinage et la résistance de pédalage (moyennées 10s avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement..... 73
- Figure 4.14 Courbes des moyennes de ventilation (L/min) des participants selon la consommation d'oxygène (L/min) aux tests maximaux jusqu'à épuisement 74
- Figure 4.15 Équivalents ventilatoires mesurés pour les deux épreuves (glace et ergocycle)..... 75
- Figure 4.16 Courbes des moyennes de ratio d'échange respiratoire (RER) des participants selon la vitesse de patinage et la résistance de pédalage (moyennées 10s avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement 76
- Figure 4.17 Courbes des moyennes de ratio d'échange respiratoire (RER) des participants selon la consommation d'oxygène (moyennées 10s avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement..... 77
- Figure 4.18 Courbes des moyennes d'oxygénation musculaire ($\text{SmO}_2\%$) des participants selon la vitesse de patinage et la résistance de pédalage (moyennées 10s

avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement, pour les jambes gauches et droites	78
Figure 4.19 Courbes des moyennes d'oxygénation musculaire (SmO ₂ %) des participants selon la consommation d'oxygène (moyennées 10s avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement, pour les jambes gauches et droites.	79
Figure 4.20 Courbe des moyennes d'oxygénation des membres inférieurs (SmO ₂ %) des participants lors de la récupération post-effort aux deux tests, pour les deux jambes	80
Figure 4.21 Courbe des moyennes de concentration sanguine de lactate (mmol/L) des participants lors de la récupération post-effort aux deux tests, après 1, 5 et 15 min ..	81
Tableau 5.1 Tableau d'estimation du VO ₂ max en absolu (L/min) et en relatif (ml/kg/min) selon le dernier palier complété au test sur glace.	97
Tableau 5.2 Tableau d'équivalences de charge de travail entre vitesse de patinage et puissance sur ergocycle.....	99
Figure 5.1 La puissance (W) déployée par rapport à l'effort exprimé en % du VO ₂ max obtenu dans les deux tests, respectivement.	101

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 Description des paliers selon les incréments avec leur vitesse de patinage et temps au tour respectif.....	29
Tableau 4.1 Caractéristiques physiques des participants	48
Tableau 4.2 Moyennes de la consommation d'oxygène par palier lors du test sur glace	49
Tableau 4.3 Moyennes de la consommation d'oxygène par palier lors du test sur ergocycle	50
Tableau 4.4 Moyennes des fréquences cardiaques atteintes (moyennées aux 10 dernières secondes de chaque palier) par palier lors du test sur glace	52
Tableau 4.5 Moyennes de volumes courants atteints (moyennées aux 10 dernières secondes de chaque palier) par palier lors du test sur glace.....	53
Tableau 4.6 Moyennes de la fréquence respiratoire atteinte (moyennées aux 10 dernières secondes de chaque palier) par palier lors du test sur glace	54
Tableau 4.7 Moyennes de ventilation atteintes (moyennées aux 10 dernières secondes de chaque palier) par palier lors du test sur glace	55
Tableau 4.8 Moyennes de ratio d'échange respiratoire atteint (moyennées aux 10 dernières secondes de chaque palier) par palier lors du test sur glace	56
Tableau 4.9 Moyennes d'oxygénation musculaire des membres inférieurs atteints (moyennées aux 10 dernières secondes de chaque palier) par palier lors du test sur glace	57
Tableau 4.10 Moyennes d'oxygénation musculaire des membres inférieurs prise à chaque 30 s pendant 3 min post-effort du test sur glace	59
Tableau 4.11 Moyenne de perception de l'effort cardiorespiratoire et musculaire à la fin du test sur glace	60

Tableau 4.12 Moyennes de concentration de lactate prise aux doigts à trois reprises post-effort lors du test sur glace..... 60

Tableau 4.13 Comparaison des valeurs maximales des paramètres cardiorespiratoires obtenus lors du test sur glace, avec celles du test sur ergocycle..... 61

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ETE	Erreur Type de l'Estimé
ÉT	Écart-type
FC	Fréquence Cardiaque
FR	Fréquence Respiratoire
INS	Institut National du Sport du Québec
ISU	International Skating Union
NdA	Niveau d'Agrément
PAM	Puissance Aérobie Maximale
RER	Ratio d'Échange Respiratoire
SSC	Speed Skating Canada
VAM	Vitesse Aérobie Maximale
VO ₂	Volume d'Oxygène
UQAM	Université du Québec à Montréal

LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS

bpm	Battement par minute
cm	Centimètre
kg	Kilogramme
km/h	Kilomètre par heure
La	Lactate
lb	Livre
L	Litre
L/m ²	Litre par mètre au carré
L/min	Litre par minute
m	Mètre
m ²	Mètre carré
min	Minute
ml	Millilitre
ml/batt	Millilitre par battement
ml/kg/min	Millilitre par minute par kilogramme
mmol/L	Millimole par litre
m/s	Mètre par seconde
N	Newton
O ₂	Oxygène
%	Pourcentage
resp/min	Respiration par minute
rpm	Révolution par minute
s	Seconde
s/tour	Seconde par tour

RÉSUMÉ

Les patineurs de vitesse courte piste se font majoritairement évaluer avec des tests sur vélo stationnaire (ergocycle). Il n'existe actuellement pas de test spécifique sur glace afin d'évaluer leurs capacités cardiorespiratoires. Pour pallier cette lacune, la présente recherche avait pour but d'étudier la faisabilité d'un test de patinage sur glace et de comparer les variables étudiées avec celles obtenues lors d'un test sur ergocycle. Vingt-quatre patineurs des deux sexes et d'âge variant de 15 à 26 ans ont participé à cette prise de données et ont ainsi participé à la passation des deux tests. Le premier test était exécuté de manière continue avec paliers progressifs sur une glace olympique courte piste (111,12 m). Une bande sonore a été créée pour déterminer la vitesse de patinage à suivre. La vitesse initiale du test était de 28,6 km/h (14,0 s/tour) et augmentait par la suite de 0,6 km/h à chaque 3 tours de piste (représentant 1 palier). Le patineur devait suivre les incréments en vitesse jusqu'à épuisement (arrêt volontaire) où jusqu'à ce qu'il ne puisse plus maintenir le rythme (en retard sur 3 tonalités consécutives). Le deuxième test était celui sur ergocycle. Le protocole utilisé impliquait un échauffement de 3 min à une résistance de 100 W, après quoi il y avait augmentation de 30 W chaque minute en maintenant une cadence de pédalage entre 80 et 90 rpm, toujours en suivant les incréments en résistance jusqu'à épuisement ou jusqu'à ce qu'il n'arrive plus à maintenir la cadence. Plusieurs paramètres respiratoires, dont la consommation d'oxygène, ainsi que l'oxygénation musculaire des membres inférieurs ont été mesurés lors des deux tests. Les moyennes de VO_2 max obtenues sur glace et sur ergocycle étaient de $3,60 \pm 0,69$ L/min et $4,33 \pm 0,78$ L/min respectivement en absolu, et $53,3 \pm 7,6$ ml/kg/min et $63,9 \pm 6,4$ ml/kg/min en relatif. Les données sous-maximales et maximales recueillies de tous les sujets nous ont permis d'établir une équation de prédiction du VO_2 max relatif selon la vitesse atteinte au dernier palier complété au test sur glace :

$$VO_2 \text{ (ml/kg/min)} = 2,3237 * V \text{ (km/h)} - 32,1548 \text{ (r=0,79, p<0,0001, ETE=4,09)}$$

Ainsi, on prédit avec un erreur de $\pm 7,7\%$ le VO_2 max obtenu sur glace de l'athlète.

Mots-clés : patinage de vitesse, patin, cardiorespiratoire, performance, sport, test spécifique...

INTRODUCTION

Le patinage sur glace est un moyen de déplacement qui date de plus de mille ans. En effet, il y a plus de 3000 ans les hommes qui vivaient dans les régions du nord de l'Europe laçaient des os d'animaux ou des bouts de bois à leur chaussure pour pouvoir traverser les lacs gelés (Formenti et Minetti, 2007; SSC, 2015). S'en suivit plus tard l'introduction de lames en fer en Europe du Nord, puis en acier (Formenti et Minetti, 2007; Schenau *et al.*, 1987). Ce n'est que dans les années 1600 que le patinage devint davantage un loisir et un sport, et que les premiers clubs de patinage furent fondés (Formenti et Minetti, 2007; SSC, 2015).

Le Canada, par le patinage de vitesse courte piste, a su se démarquer des autres pays. Bien qu'il ne s'agisse toujours pas d'une discipline aussi populaire que le hockey ou le ski par exemple, le patinage de vitesse a su se faire connaître davantage au Québec grâce à des athlètes comme Nathalie Lambert et Marc Gagnon qui ont remporté le titre de champions du monde durant les années 90. Depuis, le Canada demeure un adversaire de taille face aux autres pays participants à cette discipline. On pense notamment aux Canadiens Charles Hamelin et Marianne St-Gelais qui ont remporté un nombre impressionnant de médailles dans les dernières années.

C'est justement parce que les meilleurs tiennent à garder leur titre de champion et que la compétition s'améliore sans cesse que les fédérations sportives de chaque pays travaillent d'arrache-pied afin de constamment se mettre à jour dans les nouvelles technologies, tactiques et techniques d'entraînement, dans le but d'optimiser les performances de leurs athlètes. Ainsi, ces derniers se verront fréquemment testés durant une année au moyen d'épreuves individuelles réalisées dans des conditions contrôlées et standardisées afin d'évaluer leur capacité et performance, permettant ainsi de suivre leur évolution en cours de saison ou encore de comparer les athlètes entre eux.

CHAPITRE I

MISE EN CONTEXTE

1.1 Introduction

Le patinage de vitesse courte piste comporte plusieurs distances de course qui s'effectuent sur un ovale de glace de 111,12 m. On retrouve les courses individuelles de 500, 1000, 1500 et 3000 m qui s'exécutent en continu, puis les épreuves de relais Femmes 3000 m, Hommes 5000 m, puis nouvellement depuis la saison 2018-2019, le relais Mixte 3000 m, qui sont toujours effectués en groupes de quatre.

Étant une discipline complexe, les athlètes qui la pratiquent se doivent d'être performants sur plusieurs aspects de leur condition physique. Notamment, ces patineurs doivent être dotés d'agilité, de coordination, d'une grande endurance musculaire, mais également d'une grande puissance musculaire. En effet, plusieurs experts s'entendent pour dire que les patineurs de haut niveau savent justement se distinguer de par les hauts niveaux de puissance qu'ils peuvent produire par poussée (Boer *et al.*, 1987). Quant au patineur Bruno Pettersen Coulombe, il mentionne dans son livre qu'« il y a une part de forme physique là-dedans, mais la majorité de leur secret a beaucoup plus à voir avec leur gestion exemplaire du transfert de poids qu'à leur force physique » (Coulombe, 2014). L'équilibre y joue en effet un grand rôle lorsqu'on pense que les athlètes doivent se maintenir en constant équilibre alternativement sur l'une de leurs deux lames lors du patinage, mais aussi puisque ceux-ci se retrouvent en position très inclinée latéralement lorsqu'ils patinent dans les zones de virages qui sont très serrés avec un rayon de 8 m (SSC, 2015). En effet, à l'entrée du virage l'athlète se retrouve déjà à 45° d'inclinaison par rapport au sol en géant une force-G 2 fois plus élevée que la normale. En arrivant à l'apex (point central du virage)

il peut se retrouver jusqu'à 25° d'inclinaison par rapport au sol avec une force-G 3.25 fois plus élevée (voir Figure 1.1) (Coyle, 2010).

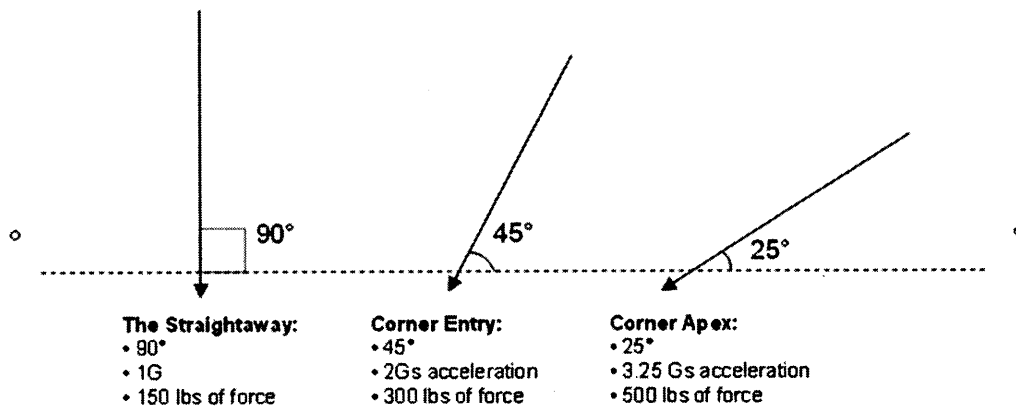


Figure 1.1 Angles et forces gravitationnelles appliquées au patineur à différents endroits dans les virages en patinage de vitesse courte piste (Tiré de Coyle, 2010)

Ces forces sont d'autant plus importantes dans le milieu du patinage courte piste étant donné que les virages sont plus serrés qu'en longue piste. Une équipe de chercheurs avaient justement étudié la différence de force appliquée lors d'un virage sur les deux sortes de pistes, alors qu'on retrouverait une force de plus de 866 N en courte piste versus 482 N en longue piste (Rundell, 1996b). Ainsi, un parfait mariage entre vitesse, puissance et équilibre est de mise afin qu'un athlète puisse se qualifier pour participer aux coupes du monde et championnats du monde.

Outre les qualités musculosquelettiques, un athlète de patinage de vitesse se doit également d'avoir de bonnes capacités cardiovasculaires. En raison des différentes distances de compétition, il devra entraîner autant ses filières aérobie que anaérobies (Doutreleau, 2011). En effet, les courses de plus petites distances se déroulent extrêmement rapidement. Pour une épreuve de 500 m par exemple, l'athlète doit donner son maximum dès le signal de départ et maintenir cette intensité aussi élevée que

possible pendant une quarantaine de secondes et ce sans pause, jusqu'au fil d'arrivée (voir Tableau 1.1 pour les temps records de courses). On dit que pour cette épreuve, la contribution du système anaérobie serait d'environ 70% contre 30% pour le système aérobie (Koning et van Ingen Schenau, 2000). À l'opposé, plus la distance de course augmente, plus le départ sera lent, pour terminer la course en augmentant de vitesse. Sur le même ordre d'idée, comme le temps d'effort sera long pour une grande distance à parcourir, l'organisme utilisera différents systèmes énergétiques pour arriver à fournir l'effort. Ainsi pour l'épreuve de 1000 m, la contribution du système anaérobie serait plutôt de 49% contre 51% pour le système aérobie. Quant à l'épreuve de 1500 m, il en serait de l'ordre de 36% contre 64% respectivement, en précisant que pour le dernier tour, plus de 90% de l'énergie fournie proviendrait du système aérobie (Koning et van Ingen Schenau, 2000), en supposant un sprint final.

Tableau 1.1 Temps records pour les différents types de course en patinage de vitesse courte piste (ISU, 2019).

		Femmes	Hommes	Mixte
Courses individuelles	500 m	42.335	39.505	
	1000 m	1 :26.661	1 :20.875	
	1500 m	2 :14.354	2 :07.943	
	3000 m	4 :46.983	4 :31.891	
Relais	2000 m			2 :38.245*
	3000 m	4 :03.471	3 :57.047	
	5000 m		6 :28.625	

*Temps non officiel

À titre informatif, les épreuves de relais quant à elles s'exécutent de manière bien différente. Ici, une équipe de quatre patineurs coursera en alternance, faisant en sorte que chacun a droit à des périodes de récupération entre ses passages. Il s'agit donc ici

d'une performance discontinue. Il est à la discrétion des équipes de choisir le nombre de tours qui seront effectués par patineur avant de donner le relais, toutefois de manière générale, la plupart des équipes choisissent d'effectuer les échanges après chaque tour et demi. Dans ce cas, chacun donne approximativement 13 s d'effort intense avant de donner le relais à son coéquipier à l'aide d'une poussée, après quoi il aura donc une quarantaine de secondes de repos actif avant de prendre son prochain relais sur la piste.

Suite à tous ces résultats, il serait juste de dire que peu importe la distance exécutée sur glace, les patineurs se doivent d'avoir de bonnes capacités aérobie et anaérobie (Koning et van Ingen Schenau, 2000).

1.2 Problématique

1.2.1 Pertinence scientifique

Dans le but de maximiser la performance de ces athlètes, il importe d'évaluer les différents déterminants de la performance. En patinage de vitesse courte piste, on pense inévitablement à la puissance des membres inférieurs (ex. : test Wingate), sans toutefois négliger les capacités cardiorespiratoires pour les raisons mentionnées précédemment.

En ce qui concerne les capacités cardiorespiratoires donc, les athlètes sont habituellement évalués lors de tests de puissance aérobie maximale (PAM) sur ergocycle. Pour ce type de test, l'athlète doit pédaler à une cadence constante et suivre les incréments en résistance (pouvant aller de 10 à 50 W/min) jusqu'à épuisement. Ce type d'épreuve, étant d'une durée considérablement plus longue qu'un Wingate de

30 secondes, s'apparente davantage aux courses longues distances de patinage de vitesse qui débutent normalement à basse vitesse et où la vitesse augmente tout au long de la course (par exemple lors d'une course de 1500 m).

On remarque ainsi que les tests sur ergocycle sont privilégiés afin d'évaluer les patineurs, comparativement à des tests de course à pied par exemple. Les raisons sont simples et s'expliquent par plusieurs aspects, dont le positionnement du corps lors de l'exercice et la biomécanique du mouvement. On comprend que le mouvement cyclique sur vélo et la musculature impliquée s'apparentent davantage au patinage de vitesse qu'à la course à pied. En effet, les patineurs demeurent en position penchée vers l'avant la majeure partie du temps lors d'une course sur glace et on retrouve également une certaine inclinaison du tronc en position sur vélo. De ce fait, les angles créés au niveau des hanches, des genoux et des chevilles en patinage sont plus similaires au mouvement de patinage, comparativement à la course à pied, où ici l'individu reste en position debout, le tronc bien redressé. Ainsi sur ergocycle, on sollicitera davantage les mêmes groupes musculaires qu'en patinage de vitesse, confirmant donc la place que l'ergocycle occupe dans l'évaluation des athlètes (Martinez *et al.*, 1993). C'est sans doute aussi pour son accessibilité que l'ergocycle est tant utilisé par les entraîneurs et spécialistes de ce domaine.

1.2.2 Pertinence pratique

Malgré les similitudes que peuvent confirmer l'utilisation du pédalage pour évaluer les patineurs, la pertinence de ce projet de recherche vient du fait qu'un grand nombre d'auteurs et spécialistes parlent de l'importance de tester les athlètes de façon le plus spécifique possible, c'est-à-dire d'une manière qui se rapproche encore plus près des conditions réelles du sport pratiqué (Boucher *et al.*, 2017; Hesford, Catherine Mary *et*

al., 2012; Peterson *et al.*, 2016; Rundell, 1996a). Stangier et coll. (2016) en faisaient justement mention lors d'une étude lorsqu'ils comparaient des exercices-tests spécifiques et non-spécifiques sur des athlètes de patinage de vitesse sur roues alignées. En réalisant de notre côté que les patineurs de vitesse de niveau national du Québec n'avaient pas accès à des tests d'évaluation de la performance directement applicable sur glace, l'idée de développer un test plus spécifique devenait pertinente. Comme noté précédemment, bien que le test Wingate de 30 s peut s'apparenter à l'épreuve individuelle de 500 m en patinage courte piste, des experts disent que ce serait plutôt la distance de 1500 m qui serait considérée comme plus importante à juger, puisqu'elle vient chercher autant les filières aérobies et anaérobies (Koning et van Ingen Schenau, 2000). Vraisemblablement, il faudrait une épreuve plus longue que le Wingate de 30 s pour évaluer les aptitudes aérobies des patineurs, et ce, de façon plus spécifique, en patins sur glace par exemple.

1.2.3 Objectifs de recherche

Comme à ce jour on ne trouve pas de test d'évaluation des performances cardiorespiratoires spécifiques au patinage de vitesse courte piste, le but de ce projet était de concevoir un test spécifique pour cette discipline et de le comparer avec un test normalement utilisé dans le domaine. Il s'agirait donc de créer un test qui se voudrait être maximal, qui s'effectue directement sur glace de façon continue avec incrémentations progressives au niveau de la vitesse de patinage, et ce jusqu'à épuisement.

En faisant passer ce test de vitesse maximale sur glace ainsi qu'un test de PAM traditionnel sur ergocycle à un grand nombre de patineurs de vitesse, nous voulions évaluer plusieurs paramètres en lien avec la consommation maximale d'oxygène

(VO₂max), ainsi que l'oxygénation musculaire des membres inférieurs lors des deux tests. Dès lors, il devint possible de comparer les résultats de tous les paramètres observés entre les deux types de tests.

D'autre part avec les résultats obtenus, il devient possible de créer un tableau d'estimation du VO₂max des patineurs selon le dernier palier complété à partir de la vitesse maximale atteinte lors du test sur glace. On parle ici d'un test terrain similaire aux tests navette à la course à pied (Léger *et al.*, 1988) et pour hockeyeurs sur glace (Leone *et al.*, 2007). Nous voulions également pouvoir créer une équation nous permettant de trouver les équivalences de charges de travail entre l'effort déployé pour une certaine vitesse de patinage et la puissance déployée pour une certaine résistance de pédalage sur ergocycle.

1.2.4 Hypothèse

L'hypothèse en lien avec ce projet est que les résultats de VO₂max obtenus lors des tests sur glace seraient plus bas que ceux obtenus sur ergocycle. Plusieurs seraient portés à croire le contraire et dire que les athlètes arriveraient à atteindre des valeurs maximales plus élevées lors d'évaluations se rapprochant de la réalité de leur sport. Notre hypothèse vient toutefois du fait que plusieurs experts mentionnent dans leurs écrits que la position particulièrement basse qu'adoptent les patineurs de vitesse lors d'épreuves sur glace viendrait compromettre une circulation sanguine optimale des masses musculaires sollicitées, résultant en une moins grande capacité d'oxygénation de ces muscles (Hesford, Catherine M *et al.*, 2013; Hesford, Catherine Mary *et al.*, 2012; Rundell, K. W. *et al.*, 1997). Pour d'autres, ce serait plus spécifiquement la contraction isométrique des quadriceps qu'on y retrouve qui aurait des conséquences physiologiques sur l'adaptation cardiovasculaire à l'exercice (Foster *et al.*, 1999;

Kandou *et al.*, 1987). Kandou et coll. (1987) vont même jusqu'à dire que les valeurs de $VO_2\text{max}$ des athlètes seraient de 5 à 10 % plus basses pour un test de patinage sur glace, comparativement à ce qu'ils pourraient atteindre lors d'un test sur ergocycle. En effet, ces athlètes demeurent en position « assise » et penchée vers l'avant durant plusieurs secondes, voire même plusieurs minutes dépendant des distances de patinage parcourues. Plus précisément, Doutreleau (2011) explique que selon la vitesse de patinage, on peut retrouver des angles au niveau tronc/cuisse de $\pm 50-55^\circ$, ainsi que des angles de flexion aux genoux de $\pm 110-120^\circ$ (voir Figure 1.2). Les patineurs cherchent à prendre des positions à angles aussi « fermés » puisqu'on dit dans le milieu que plus le tronc est en position horizontale et plus le patineur sera en position optimale pour performer, bien que plusieurs aient de la difficulté à maintenir cette position sur une longue période (Schenau *et al.*, 1987). Il n'est même pas rare qu'un angle de 10 à 30° d'élévation du tronc par rapport à l'horizontale soit observé (Koning et van Ingen Schenau, 2000), ce qui correspond à une position du tronc presque parallèle au sol. C'est aussi une façon de minimiser la résistance de l'air lors du patinage (van Ingen Schenau, 1982). En arrivant à diminuer son angle au tronc de 5°, on dit qu'un patineur pourrait donc patiner la distance de 1500 mètres avec 3 secondes en moins (Koning et van Ingen Schenau, 2000), ce qui est loin d'être négligeable.



Figure 1.2 Position en patinage de vitesse avec fermeture hanche-tronc et flexion des genoux, image provenant de (Doutreleau, 2011).

Ainsi, malgré le mouvement dynamique des bras et des membres inférieurs lors du patinage, on garde une composante statique du bas du corps à cause de cette position

accroupie maintenue. C'est pourquoi dans cet ordre d'idée, Mitchell et ses collaborateurs (2005) ont classé ce sport dans la catégorie IIIC selon leur échelle de classification des sports. On se base ici sur les valeurs basses, moyennes ou hautes des composantes statiques et dynamiques des sports. Ainsi pour le patinage de vitesse, la composante statique est considérée comme élevée, se situant à plus de 50% de la contraction volontaire maximale (force maximale volontaire).

Étant donc dans cette position statique la majorité du temps lors d'épreuve, on comprend mieux la théorie de Doutreleau (2011) expliquant le blocage au niveau de l'oxygénation des membres inférieurs qui viendrait compromettre un débit artériel et un retour veineux optimal du bas du corps chez les patineurs. À ce propos, plusieurs auteurs spécifient que ce blocage pourrait justement causer un plafond du VO_2 à l'exercice, avant même que l'adaptation circulatoire centrale n'ait pu être complétée (De Koning, Jos J. *et al.*, 2005; Shibuya et Tanaka, 2003). Cela pourrait expliquer les résultats moins élevés en ce qui a trait aux fréquences cardiaques, au pic de VO_2 et au débit ventilatoire obtenu lors de l'étude de Doutreleau avec une position de patinage basse, en comparaison avec un test de course à pied. Cette réduction du débit sanguin vers les muscles du bas du corps causée par la position de patinage courte piste affecte indéniablement la capacité aérobie et Hesford et coll. (2013) croient que cela pourrait expliquer pourquoi la filière anaérobie est tant sollicitée en patinage de vitesse. Toutes ces raisons expliquent donc que notre hypothèse aille dans ce sens.

CHAPITRE II

RECENSION DES ÉCRITS

2.1 Tests traditionnels de PAM et de VAM

Les tests de PAM et de VAM sont des tests de base que l'on utilise couramment pour évaluer les athlètes de tous types. La PAM est obtenue sur ergocycle (ou vélo) alors que la VAM est souvent obtenue à la course à pied, bien qu'il soit possible d'adapter ce concept pour tout sport nécessitant une vitesse de déplacement. Ces tests ont des structures similaires, dans le sens où il s'agit de tests progressifs et maximaux, c'est-à-dire avec augmentation de l'intensité jusqu'à épuisement. On cherchera à mesurer la puissance maximale exprimée en watt pour le test de PAM sur ergocycle, et la vitesse en m/s (ou m/min, ou km/h) pour le test de VAM, dans lesquels l'intensité augmente progressivement à chaque palier variant de 1 à 3 min, jusqu'à l'arrêt (Bishop *et al.*, 1998). La progression peut différer ainsi légèrement d'un protocole à l'autre et comme le mentionne Åstrand (1976), il n'y a pas de protocole idéal préétabli pour chaque situation; « il est recommandé d'adapter à chacun l'intensité initiale de travail ainsi que l'intensité des incréments selon ce qu'on présume être les capacités maximales de la personne testée ». Toutefois, dans le but de mesurer le $VO_2\text{max}$, Åstrand (1976) suggère d'utiliser des paliers relativement courts, de l'ordre de 1 à 2 min. On suggère également que la durée totale du test ne dépasse pas les 12 min pour qu'il soit valide (Wasserman, 1994). C'est qu'au-delà de 12 minutes, le $VO_2\text{max}$ aura tendance à être sous-estimé à raison d'une fatigue musculaire qui s'installe. À noter également que plus les incréments en intensité sont grandes entre les paliers et plus le temps passé sur chaque palier devra être long (Åstrand, 1976). On suppose que cela donne davantage de temps à l'organisme de s'habituer à la nouvelle et plus importante charge

de travail, et ainsi arriver à un état quasi stable à chaque palier (Robergs *et al.*, 1990; Weltman *et al.*, 1990).

Ainsi, pour un test de PAM par exemple, on pourra déterminer une résistance de départ à 75 W si le sujet est non-entraîné, à 100 W s'il est modérément-entraîné ou à 150 W s'il est bien entraîné (Cink et Thomas, 1981). Après un échauffement de 3 à 5 min sur cette valeur, dépendant du protocole, la résistance peut augmenter de 10 à 30 W par paliers de 1 à 3 min, tout en maintenant une cadence stable (normalement entre 60 et 90 rpm, selon le protocole) jusqu'à épuisement.

Dans le cas d'une VAM, les paliers se distinguent par une augmentation en vitesse de course, normalement de 0,5 à 1 km/h, ou encore par une augmentation de l'inclinaison de la pente pour un test sur tapis roulant (Froelicher *et al.*). Mais d'autres tests sont à notre disposition advenant qu'on veuille évaluer la VAM d'un athlète dans un environnement autre. Sur piste par exemple, on pourrait avoir recours à un test Cooper où l'individu doit effectuer la plus grande distance possible à l'intérieur de 12 min (Cooper, 1968). On pourrait également utiliser un test navette-Léger (Léger et Lambert, 1982), consistant à faire des allers-retours sur 20 m en suivant une vitesse de course augmentant par paliers, comme mentionnés précédemment.

2.2 Test d'évaluation aérobie spécifique hors glace

À ce jour, il existe un protocole à exécuter hors glace et qui s'approche davantage de la position et du mouvement de patinage de vitesse. Celui-ci s'exécute sur une planche à glisser. Pour ce test, l'athlète doit exécuter des mouvements de glisse en déplacements latéraux de gauche à droite sur une planche de polyéthylène de 2,10 m de largeur. Il s'agit d'un test progressif où le participant doit respecter une vitesse de départ de 30

déplacements latéraux par minute, après quoi on ajoute 3 déplacements supplémentaires par minute, jusqu'à épuisement (Piucco *et al.*, 2015). L'avantage avec ce test est qu'on y recrute davantage les muscles abducteurs et adducteurs de la hanche, comparativement au simple mouvement de pédalage sur vélo, ce qui le rend plus spécifique à la discipline. Doutreleau (2011) mentionne à cet effet qu'il existe une corrélation significative ($r = 0,75$) entre le VO_2 de pointe obtenue lors du test sur planche à glisser et des performances sur glace pour les distances de 1000 et 1500 m.

D'autres chercheurs ont conçu différents tests adaptés pour les patineurs sur patin à roues alignées par exemple, à exécuter sur un tapis roulant (Koepp et Janot, 2008). Il y a même des tapis roulants où les joueurs de hockey peuvent y patiner avec leur propre patin (avec lames) (Nobes *et al.*, 2003). Toutefois, bien que de pouvoir reproduire le mouvement de glisse soit un avantage dans le cas des tests précédents, on ne peut oublier le fait que la puissance totale qui pourra être transmise par l'athlète lorsqu'il patine réellement sur la glace résulte non seulement de l'énergie produite par celui-ci, mais également des forces externes contre lesquelles il travaille. On parle ici notamment de la gravité et des forces de friction contre l'air et la glace, qui sont absentes lors du patinage sur tapis roulant ou planche à glisser en laboratoire (Boer *et al.*, 1987; Schenau *et al.*, 1987; van Ingen Schenau *et al.*, 1994). De Koning et ses collègues appuient ce propos en nous rappelant qu'une partie de la force exercée par le patineur est justement dissipée par la résistance de l'air lors du patinage (De Koning, Jos J. *et al.*, 2005). Comme la résistance de l'air représente un facteur important sur l'effort, il s'agit d'un autre point en faveur de trouver un test sur glace avec réel déplacement dans l'espace dans le but d'être encore plus spécifique au sport. Un autre point manquant aux deux tests mentionnés précédemment et qui est loin d'être à négliger est l'impossibilité de pouvoir recréer le mouvement de croisement des membres inférieurs effectués par les patineurs lors des virages sur l'anneau de glace. Finalement, même si ces tests constituent de bonnes alternatives comme mode d'évaluation dans le domaine du patinage, très peu de fédérations et centres sportifs ont

accès à une planche à glisser (Doutreleau, 2011) et les tapis roulants adaptés pour patinage sont des appareils d'autant plus dispendieux dont malheureusement peu possède (Piucco *et al.*, 2015). Subséquemment, la plupart doivent trouver d'autres alternatives.

2.3 Test d'évaluation aérobie spécifique sur glace

Dans un autre ordre d'idée, chercher un test qui s'effectuerait dans le même environnement que le patinage de vitesse, c'est-à-dire directement sur glace, nous mène vers des tests qui s'appliquent davantage aux joueurs de hockey. En effet, il existe des tests progressifs pour les hockeyeurs, consistant à effectuer des aller-retour sur 45 m, alors que la vitesse de patinage augmente à chaque palier (Leone *et al.*, 2007). Il s'agit en quelque sorte d'une adaptation du test progressif navette Léger (Léger et Lambert, 1982) s'effectuant normalement en aller-retour sur 20 m à la course à pied. Toutefois, se servir d'un test conçu pour les joueurs de hockey dans le but d'évaluer des patineurs de vitesse serait à l'encontre de notre idée de spécificité. En effet, la discipline courte piste s'exécute toujours de façon continue sur une piste ovale, alors que le test pour joueur de hockey s'effectue en aller-retour sur une ligne, avec arrêts et changements de direction constants. Comme les patineurs de vitesse n'ont pratiquement jamais recourt à des manœuvres d'arrêt en parcours et qu'ils tournent toujours du même côté (en sens antihoraire, donc vers la gauche), on se doit de trouver d'autres alternatives.

2.4 Biomécanique du mouvement en patinage de vitesse courte piste

La variabilité de mouvements en patinage de vitesse, si on compare avec le vélo par exemple, est largement plus grande. D'abord, le mouvement cyclique sur vélo se restreint majoritairement au plan sagittal, en exécutant flexions et extensions des hanches, genoux et chevilles. D'autres différences sont présentes, et comme l'expliquent Schenau et ses collègues (1987), c'est entre autres dû aux qualités particulières de la glace. En effet, c'est puisque celle-ci est assez faible pour permettre aux lames de patin de s'y enfoncer, mais aussi parce que le coefficient de friction entre la glace et la lame est très bas. De ce fait, « cela permet un efficace, mais non naturel, moyen de propulsion, normalement appelé « *the gliding technique* » (Schenau *et al.*, 1987). La technique de glisse consiste donc à se propulser sur la glace à l'aide de poussées dirigées dans un certain angle, pendant qu'on est déjà en mouvement de glisse vers l'avant. Pour ce faire, les muscles adducteurs et abducteurs de la hanche seront recrutés et demeurent indispensables, alors qu'ils le sont beaucoup moins à vélo, servant ici de muscles secondaires au mouvement.

L'ensemble de la biomécanique de mouvement en patin est aussi plus complexe comparativement à la mimique sur planche à glisser. Comme introduit précédemment, malgré l'avantage qu'apporte la composante de mouvements sur le plan frontal avec le test sur planche à glisser grâce aux poussées de côtés, nous n'arrivons toujours pas à recréer la technique de croisement des membres inférieurs effectués dans les virages en courte piste sur la glace. Il s'agit d'un aspect qu'on ne peut pas manquer de prendre en compte dans cette discipline, étant donné la très courte portion du temps de travail passé dans les bouts droits. Dans les faits, on peut remarquer qu'à relativement basse vitesse (33,4 km/h ; 12 s/tour) le patineur n'effectue la majorité du temps que deux croisements par virage, soit un de l'entrée de virage à l'apex, puis un second de l'apex

au prochain bout droit (voir Figure 2). Lorsque la vitesse de glisse augmente, par exemple à 37 km/h (10,8 s/tour), le patineur peut faire jusqu'à 3 croisements par virage.

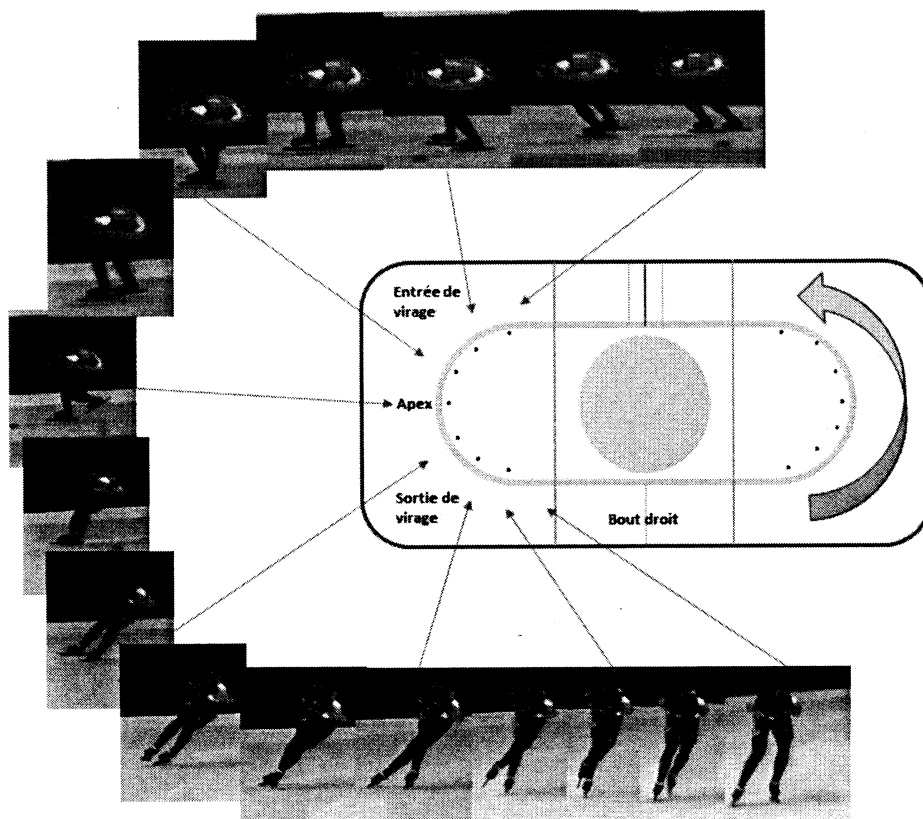


Figure 1.1 Mouvement de croisement des membres inférieurs lors d'un virage en courte piste à une vitesse de patinage (33,4 km/h ; 12 s/tour) permettant de n'exécuter que 2 croisements par virage.

Il est également important de prendre en compte, au niveau de la biomécanique du mouvement de ces patineurs, que le simple fait que le patinage de vitesse s'effectue de manière à toujours tourner vers la gauche occasionne une certaine asymétrie musculaire chez l'athlète, qu'on ne retrouve pas lors d'un effort sur vélo stationnaire, ni à la course sur tapis roulant. D'ailleurs, ces virages sont importants puisque contrairement au

patinage en ligne droite, on dit que ce n'est pas la fréquence de poussées qui importera, mais bien la puissance qui y sera développée par poussée (Boer *et al.*, 1987; Schenau *et al.*, 1987).

Un autre aspect qui distingue le patinage de vitesse est qu'on ne pourra y recréer le mouvement de flexion plantaire qu'on voit normalement à la fin d'une poussée en course à pied (De Boer *et al.*, 1987) à cause de la rigidité de la botte de patin, mais aussi parce que cela créerait une force de friction importante avec la glace, alors que la pointe avant du patin viendrait directement piquer celle-ci (Koning et van Ingen Schenau, 2000; van Ingen Schenau, 1982). Pour éviter ce phénomène, les patineurs apprennent plutôt à finir leurs poussées avec la partie arrière du patin (Schenau *et al.*, 1987). Puisqu'aucune rotation au niveau du pied ou de la cheville n'est donc possible pour effectuer les poussées et que le tronc reste stable, c'est la jambe qui devra majoritairement effectuer le travail (Koning et van Ingen Schenau, 2000). Ainsi, on note l'importance d'une grande force des muscles extenseurs de la hanche et du genou pour effectuer la propulsion en patinage. Les aspects précédents constituent donc des divergences additionnelles sur le point de vue biomécanique entre le travail sur vélo, course à pied et celui du patinage de vitesse.

2.5 Paramètres permettant d'évaluer la capacité aérobie

Dans le but de bien pouvoir créer un test qui serait spécifique au patinage de vitesse courte piste, il était nécessaire de se pencher sur les paramètres qu'il serait pertinent d'évaluer pour la discipline. Ainsi, voici les éléments qui sont normalement prisés lors d'évaluation cardiorespiratoire d'athlètes, mais également ceux que nous avons sélectionnés pour faire partie de nos analyses dans le cadre du projet.

2.5.1 Le VO₂max

La consommation maximale d'oxygène (VO₂max) se définit comme étant la quantité maximale d'oxygène que l'organisme peut utiliser par minute durant un effort physique. Il est possible de l'exprimer en valeur absolue en litre par minute (L/min) ou relative au poids corporel d'un individu (ml/kg/min) (Costill *et al.*, 2013). Le VO₂max est un indicateur reconnu de la santé cardiorespiratoire d'un individu, ainsi que des effets d'un entraînement donné (Bassett Jr et Howley, 2000). Le paradigme du VO₂max, proposé par Hill et Lupton (1923) stipule que « 1. il y a une limite maximale à la consommation d'oxygène, 2. il y a une différence interindividuelle quant au VO₂max, 3. un VO₂max élevé est un prérequis dans le succès des courses de moyennes et longues distances, 4. le VO₂max est limité par l'habileté du système cardiorespiratoire à transporter l'oxygène aux muscles » (Hill et Lupton, 1923). C'est donc sur ce dernier point que se base l'hypothèse de notre projet de recherche, à savoir si la position en patinage de vitesse rendrait le transport (convection) de l'oxygène plus difficile, et ainsi limiterait les valeurs de VO₂max sur glace. La diffusion de l'oxygène semble aussi être un facteur limitant du VO₂max et serait attribuée à la fonction respiratoire mitochondriale (Ade *et al.*, 2017). Toutefois dans le contexte de ce travail, seulement l'aspect de convection sera retenu, car selon notre hypothèse celui-ci semble être le plus important et la présente expérimentation n'est pas conçue pour mesurer la fonction mitochondriale.

D'autres aspects peuvent venir jouer sur un résultat de VO₂ lors d'une prise de données, tels que si la prise est faite après un long moment d'inactivité, après un entraînement exigeant ou, bien entendu, conséquemment à une maladie cardiaque (Åstrand, 1976).

La durée d'un protocole de VO_2 max varie selon le type d'exercice et les chercheurs semblent chacun avoir leur préférence sur le sujet. Certains ont pu déterminer, en testant plusieurs fenêtres de temps différentes, que la durée idéale d'un protocole de VO_2 max serait entre 8 et 10 min pour des athlètes modérément à hautement entraînés et en santé (Yoon *et al.*, 2007). Buchfuhrer et ses collègues (1983) croient de leur côté que le protocole devrait être complété entre 8 et 12 min, puis Bishop et ses collègues (1998) rapportent qu'on ne devrait pas dépasser les 12 min.

Peu importe la fenêtre de temps choisie, on dit que l'atteinte d'un plateau au niveau du VO_2 constitue un des critères menant à l'atteinte du VO_2 max lors d'un test (Gore et Fuller, 2013). Il faut cependant garder en tête que ce ne sont pas tous les individus chez qui on observera forcément un plateau durant l'effort (Duncan *et al.*, 1997). Dans les faits, il a été démontré à plusieurs reprises qu'environ 50% des individus participant à un effort maximal n'arrivaient pas à rejoindre un plateau au niveau du VO_2 (Bassett Jr et Howley, 2000; Howley *et al.*, 1995). Pour cette raison, on comprend que la dernière valeur de VO_2 atteinte ne peut pas être notre seul critère d'observation pour savoir si l'athlète a atteint ses capacités maximales. Il faut ainsi se fier à d'autres valeurs en parallèle, telles que les fréquences cardiaques, le ratio d'échange respiratoire, la ventilation ou la lactatémie (Bassett Jr et Howley, 2000; Cumming *et al.*, 1972; Duncan *et al.*, 1997).

2.5.2 Les fréquences cardiaques

On peut se fier à plusieurs équations existantes dans le but de prescrire des entraînements, mais également pour prédire les fréquences cardiaques (FC) maximales d'un individu d'après son âge. On pense notamment à la très utilisée formule « $220 - \text{âge}$ » (Fox *et al.*, 1971), bien qu'elle tend à surestimer les valeurs pour les jeunes en

bas de 40 ans et sous-estimer celles pour les plus âgées (Camarda *et al.*, 2008). D'autres préféreront la méthode de Tanaka « $208 - (0,7 \times \text{âge})$ » (Tanaka *et al.*, 2001). Dans tous les cas, dû à la très grande variabilité entre individus sur cet aspect (Cumming et Borisyk, 1972), l'*American College of Sports Medicine* indique qu'on ne devrait pas se fier à une estimation de FC maximale dans la détermination de tests visant à évaluer le VO_2max (American College of Sports Medicine, 1991). La possibilité de suivre l'évolution des FC lors d'un test à l'effort s'avère toutefois très utile pour nous donner des indices sur l'intensité d'un exercice ou d'un effort. Par exemple, certains auteurs mentionnent que l'atteinte d'un plateau au niveau des FC lors d'un effort maximal serait un autre indice menant à l'atteinte du VO_2max (Heyward et Gibson, 2014).

2.5.3 Le ratio d'échange respiratoire

Le ratio d'échange respiratoire (RER), aussi appelé quotient respiratoire, représente le ratio de production de dioxyde de carbone (CO_2) par rapport à l'absorption d'oxygène (O_2). Il s'agit d'une mesure souvent utilisée afin de savoir quels substrats énergétiques le corps utilisera le plus durant un effort donné et en quelle quantité en termes de pourcentage (Pendergast *et al.*, 2000). Par exemple, un RER élevé révélerait d'une plus grande utilisation des glucides par l'organisme, tandis qu'une valeur basse en traduit surtout l'oxydation des lipides. De façon plus précise, on dit qu'un RER de 1.0 indiquerait une utilisation de 100% des glucides, versus 100% d'utilisation des lipides pour un RER de 0.71 (Costill *et al.*, 2013). Gardons en tête toutefois qu'il s'agit d'un continuum et que la plupart du temps la personne évaluée se trouve quelque part à l'intérieur de cet écart, selon des proportions différentes des deux côtés.

Lors d'un effort intense, le fait d'atteindre un RER plus grand ou égal à 1.15 constitue un autre indicateur d'atteinte du $VO_2\text{max}$ (Bassett Jr et Howley, 2000; Duncan *et al.*, 1997; Issekutz *et al.*, 1962).

2.5.4 La lactatémie

La lactatémie est un paramètre souvent prélevé lors d'évaluation à l'effort. Le lactate est un substrat énergétique qui s'utilise rapidement et qui se propage dans tout le corps (Ferguson *et al.*). La quantité présente dans le sang « n'est pas seulement le reflet d'une production de lactate par les muscles ou d'autres tissus, mais reflète également son élimination par le foie, le cœur, les muscles et autres tissus » (Costill *et al.*, 2013). Sur le terrain, le lactate sera normalement mesuré par un échantillon sanguin prélevé à l'aide d'une piqure au bout d'un doigt. On note trois principales raisons pour mesurer cette variable : 1) cela sert d'indicateur d'adaptation à l'entraînement; 2) de potentiel d'endurance; et 3) cela peut nous donner des indices sur la zone optimale d'intensité d'entraînement pour un individu (Bourdon, 2013; Costill *et al.*, 2013). On note que chez un individu entraîné, le niveau de charge de travail devra être plus important avant que débute l'accumulation de lactate, comparativement à un individu sédentaire (Ivy *et al.*, 1980).

Au niveau de la concentration de lactate sanguin, il est mentionné que celle-ci augmente plus un effort devient intense. Selon la littérature, on atteindrait un premier seuil lactique (SL1), que certains appellent également seuil aérobie, à une intensité où on remarque une augmentation soutenue de la concentration sanguine en lactate au-delà des valeurs de repos (Bourdon, 2013). Bien que plusieurs soient en mésentente sur l'exactitude de cette valeur, on peut dire que ce point se trouverait aux alentours de 2 mmol/L. Chez les sujets sédentaires, cela représenterait environ 50 à 60% du $VO_2\text{max}$,

alors que pour les sujets plus entraînés, le seuil se situerait vers 70-80% du VO_2max (Costill *et al.*, 2013). Le deuxième seuil lactique (SL2), ou seuil anaérobie, serait quant à lui défini par une cassure beaucoup plus abrupte alors que le taux de lactate devient supérieur à 4 mmol/L (Costill *et al.*, 2013). Cela représente le point où la production de lactate dépasse son élimination, représentant ainsi le seuil d'accumulation sanguine de lactate (SASL) (McArdle et Katch, 2001). Ici, on se trouverait à environ 70% du VO_2max chez les sujets sédentaires et en haut de 80% chez les sujets entraînés. Il est important de rester prudent avec ces chiffres et concepts toutefois, lorsqu'on sait que plusieurs auteurs ne s'entendent pas sur des valeurs communes. Le fait de retrouver tant de méthodes et critères différents pour le calcul d'un seuil anaérobie pourrait expliquer notamment le fait que chacun arrive à une valeur de référence différente (Tokmakidis *et al.*, 1998).

Somme toute, la lactatémie constitue un autre des nombreux critères à l'atteinte du VO_2max et est identifiée lorsqu'on atteint un résultat plus élevé ou égal à 8 mmol/L après 5 min post-effort (Gore et Fuller, 2013; Howley *et al.*, 1995).

2.5.5 La ventilation

La ventilation (V_E) représente le volume d'air (en litre) ventilé par minute. Il nous est possible d'utiliser cette valeur comme indicateur de l'économie respiratoire lorsqu'on le met en rapport avec le VO_2 (V_E/VO_2), obtenant ainsi le volume d'air ventilé en litre, par litre d'oxygène consommé (Costill *et al.*, 2013). Au repos, on dit que ce rapport se situerait dans les alentours de 23 à 28 L/min (Costill *et al.*, 2013). Dans le cas d'un effort maximal, presque tout l'oxygène disponible sera extrait du sang des muscles qui travaillent (Cerretelli et Prampero, 1987). L'entraînement ne peut modifier la ventilation au repos, mais peut toutefois faire baisser les valeurs durant l'effort. On dit

que pour des athlètes de sports d'endurance, la ventilation peut se situer aux alentours de 180 L/min (Costill *et al.*, 2013).

À l'exercice, on peut également observer deux seuils ventilatoires, au même titre qu'avec la lactatémie. Ainsi, lors d'un exercice où l'intensité augmente de façon croissante, on remarque que la ventilation augmentera d'abord de façon proportionnelle à cette intensité (Costill *et al.*, 2013). Le premier seuil ventilatoire (SV1) apparaît au premier point d'inflexion de la courbe V_E en fonction de l'intensité. Par la suite, avec l'intensité qui continue d'augmenter, « à un moment donné, la ventilation s'accroît de manière disproportionnée à la demande » (Costill *et al.*, 2013) en réaction à la trop grande production de lactate sanguin (par rapport à ce qui est éliminé) (Lucía *et al.*, 2000). À ce moment, le système oxydatif ne suffit plus pour fournir l'effort demandé et fera donc appel au système glycolytique. Il semblerait ainsi selon les experts qu'« un effort maintenu au-delà du seuil SV2 implique majoritairement le métabolisme anaérobie » (Lucía *et al.*, 2000). Toutefois, le concept de seuil lactique est controversé et selon certains auteurs, il serait même inexistant (Péronnet *et al.*, 2006). Certains caractérisent les seuils de façon plus simple en qualifiant de faible intensité un effort en deçà de SV1, de modérée entre SV1 et SV2, puis de haute intensité au-delà de SV2 (Skinner et McLellan, 1980).

Notons également que lors d'un effort physique, la fréquence respiratoire (nombre de respirations par minute) augmentera de façon plus importante que le volume courant (quantité d'air inspiré ou expiré à chaque cycle respiratoire) en début d'effort. Puis, dès 40-50% d'atteinte de l'effort maximal possible, le volume courant augmentera de manière plus importante que la fréquence respiratoire (Serna *et al.*, 2018). Ce phénomène de contrôle de la respiration qui s'exécute de manière involontaire chez l'individu est ainsi produit dans un souci d'économie d'énergie (consommation d'O₂) des muscles respiratoires, traduisant d'un maintien du travail respiratoire à un niveau le plus économique possible (efficacité du système respiratoire).

2.5.6 L'oxymétrie musculaire

L'oxygène est majoritairement (>98%) transporté dans le sang en se liant à l'hémoglobine des globules rouges, alors qu'une autre petite quantité est dissoute dans le plasma (Costill *et al.*, 2013). Chaque molécule d'hémoglobine a la capacité de transporter quatre molécules d'oxygène pour ainsi devenir le complexe oxyhémoglobine. Pour ainsi être saturé d'oxygène, il faut que la pression partielle en oxygène soit suffisamment élevée, sinon l'hémoglobine reste seule et devient ce qu'on nomme la désoxyhémoglobine (Costill *et al.*, 2013). Bien entendu, d'autres facteurs influenceront la possibilité ou non de saturation des molécules avec de l'oxygène, tels que la température et le pH sanguin. En effet, on observe une désaturation de l'hémoglobine plus la température augmente et plus le pH diminue. Dans ces circonstances, la capacité à fournir de l'oxygène aux muscles à l'effort augmente.

Ici aussi, il a été prouvé que la capacité de l'organisme à diffuser l'oxygène dans les muscles peut être un facteur limitant l'atteinte du $VO_2\text{max}$ (Bassett Jr et Howley, 2000; Shibuya et Tanaka, 2003). Des études ont prouvé que non seulement la position basse de patinage de vitesse combinée à de grandes forces intramusculaires déployées menait à une augmentation de la désoxygénation des muscles quadriceps, mais cela augmenterait également la concentration de lactate sanguin et induirait une réduction du $VO_2\text{max}$ (Hesford, Catherine M *et al.*, 2013; Hesford, Catherine Mary *et al.*, 2012). Hesford et ses collègues ont notamment été capables d'observer une différence de patron au niveau de la désaturation des deux jambes, notamment à cause du travail différent des membres inférieurs en patinage. En effet dans les virages, on dit que la poussée exécutée par la jambe gauche (celle à l'intérieur du virage) serait plus courte puisque la jambe droite (à l'extérieur du virage) se retrouve par-dessus en fin de mouvement dû à la technique de croisement, mais qu'elle serait plus puissante (Boer

et al., 1987). Au niveau de la saturation donc, on observerait pour la jambe droite une baisse initiale plutôt rapide pour après se maintenir jusqu'à la fin de la course, alors que pour la jambe gauche on observerait aussi une baisse rapide, mais une resaturation progressive pendant que la course continue. Selon ces chercheurs, ce serait la phase de suspension sur une jambe (droite) à l'apex qui ferait toute la différence (Hesford, Catherine Mary *et al.*, 2012).

Les chercheurs de cette même étude ont également pu déterminer que la désaturation musculaire maximale n'était pas corrélée avec la durée de la course. Alors que les courses plus longues que 500 m tendent à être un peu moins tactiques, les auteurs mentionnent qu'ils n'ont toutefois pas pu vérifier la différence pour des vitesses de courses différentes. La présente étude permettra possiblement d'établir une hypothèse à ce propos, alors que l'oxygénation musculaire des membres inférieurs sera observée et que notre test sur glace est conçu de sorte que la vitesse de patinage augmente chaque 3 tours.

2.5.7 La perception de l'effort

L'échelle de Borg est un outil des plus utiles et simple afin de pouvoir quantifier les sensations vécues par un individu lors d'un effort physique. On peut l'utiliser pour avoir une idée de la perception de difficulté sur un effort donné ou pour quantifier une sensation d'inconfort ou de douleur (Borg, 1982). Cette quantification suit une échelle de 6 à 20, où le chiffre 7 représente un effort dit « très très faible » et où 19 serait de « très très difficile ». Cette échelle a entre autres été conçue de sorte à estimer les fréquences cardiaques de la personne à l'effort en multipliant par 10 le score ressenti sur l'échelle.

2.6 Demandes physiologiques spécifiques au patinage de vitesse courte piste

Ce qu'on obtient dans la littérature en termes de capacité aérobie des patineurs de vitesse reste de manière générale dans la même marge de données. Si on se fie aux normes trouvées par rapport au sport, «leur pic de VO_2 varie entre 50 et 65 ml/kg/min selon le niveau des sportifs étudiés» (Doutreleau, 2011). Une étude allemande faite avec des patineurs à roues alignées sur route déclare quant à elle un chiffre de 67 ml/kg/min (Krieg *et al.*, 2006). Schenau et ses collègues avaient également obtenu des résultats dans cet écart avec une moyenne de VO_2 de 56.1 ml/kg/min pour les femmes et 65.5 ml/kg/min pour les hommes (van Ingen Schenau *et al.*, 1988). Fait intéressant avec eux, lorsqu'ils calculaient la consommation d'oxygène relatif à la masse musculaire seulement, il n'y avait plus de différence significative entre les deux sexes. Tout compte fait, les données varient pour le même sport et cela peut être expliqué par le choix de la méthode utilisée lors des évaluations.

Dans cet ordre d'idée, Rundell (1996) avait testé ses patineurs selon 3 types de positions différentes et avait ainsi obtenu des résultats différents. Il y a noté des résultats de VO_{2max} de 57.2 (± 2.7) ml/kg/min en position de patinage basse, 62.3 (± 4.0) ml/kg/min en patinage en position redressée et 64.3 (± 1.6) ml/kg/min sur une épreuve de course à pied sur tapis roulant (Rundell, 1996a). Ainsi donc, comme l'appui notre hypothèse, il semble que plus le tronc serait penché vers l'avant et plus les valeurs de VO_{2max} sont réduites chez le même individu. Idem avec l'étude de Kandou et ses collègues (1987) qui note des valeurs de consommation d'oxygène de 53.9 (± 4.2) ml/kg/min pour ses patineurs lorsqu'ils patinaient, comparativement à 57.2 (± 4.9) ml/kg/min lorsqu'ils faisaient une épreuve sur vélo. Ils avaient aussi remarqué que d'autres valeurs étaient plus basses sur glace, comparée à une épreuve de pédalage; notamment au niveau de la ventilation de 98.8 (± 7.3) L/min versus 111.3 (± 10.2)

L/min, ainsi que pour le RER de 1.03 (± 0.05) versus 1.18 (± 0.13) respectivement (Kandou *et al.*, 1987).

Foster et ses collègues (1999) avaient quant à eux observé les pourcentages de désaturation au niveau du quadriceps (vaste latéral) par spectrophotométrie infrarouge lors d'un exercice maximal de patinage en ligne sur roues en position basse (107° de flexion aux genoux), en position plus haute (112° de flexion aux genoux), puis lors d'un exercice maximal sur vélo. Ils ont noté des valeurs de 74.9 %, 60.4 %, et 50.3 % respectivement, suggérant une plus grande désaturation lorsque l'effort était exécuté avec un angle plus fermé au niveau du membre inférieur.

Outre les aspects cardiorespiratoires, nous avons mentionné précédemment que les patineurs de vitesse se devaient d'être autant endurants que puissants sur la glace. Il est évident que différents types de fibres musculaires seront recrutés selon le type d'effort qui devra être donné. Ainsi pour une course de longue durée comme la distance de 3000 m par exemple, on note un plus grand recrutement des fibres lentes, endurantes à la fatigue (type I). Pour un geste plus court et explosif comme un sprint ou un dépassement sur glace, les fibres rapides (type II) seront majoritairement sollicitées. On sait que les fibres lentes sont dotées d'une plus grande capacité oxydative (Essen *et al.*, 1975; Gollnick *et al.*, 1973). Ceci dit, des résultats ont démontré que le pourcentage de fibres lentes d'un individu serait directement lié au seuil lactique absolu et relatif de celui-ci (Ivy *et al.*, 1980). Ces mêmes chercheurs ont également noté une corrélation positive entre le pourcentage de fibres lentes et le $VO_2\text{max}$ des individus participants. Bien que le but de notre projet ne soit pas d'étudier la morphologie des fibres musculaires des athlètes, il reste intéressant de souligner que ceux atteignant un $VO_2\text{max}$ plus élevé ont sans doute une plus grande proportion de fibres oxydatives (de type I et IIA), adaptées à un effort aérobie soutenu.

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

3.1 Description du test sur glace

Le test conçu spécifiquement au patinage de vitesse courte piste s'effectue directement sur un anneau de glace de courte piste (111,12 m), en aréna. Il s'agit d'un test progressif en continu, suivant des incréments de vitesse sous forme de paliers, le tout dirigé par une bande sonore. On peut ainsi dire qu'il s'agit d'un « beep test », au même titre que le test Navette-Léger (Léger et Lambert, 1982). La vitesse de départ et le choix des incréments ont été déterminés après avoir consulté les entraîneurs de l'équipe nationale canadienne junior et senior quant aux capacités générales des athlètes de ce sport, en ayant l'avis d'experts et en tenant compte de la fenêtre de temps optimale pour un test de $VO_2\text{max}$, vue précédemment.

L'idée était de débiter le premier palier avec un rythme de départ qui représente une vitesse d'échauffement pour un patineur de vitesse. Ayant déterminé que la vitesse de patinage de départ serait de 14,0 s/tour, nous avons converti cette valeur en km/h afin de bâtir nos incréments de la sorte. Ainsi, le premier palier débute à une vitesse de 28,6 km/h (7,94 m/s) et la vitesse augmente de 0,6 km/h à chaque palier (voir Tableau 3). Un palier représente trois tours de glace complets (1 tour = 111,12 m).

Tableau 3.1 Description des paliers selon les incréments avec leur vitesse de patinage et temps au tour respectif.

Paliers	Vitesse (km/h)	Vitesse (m/s)	Temps au tour (s/tour)	Temps par palier (s)	Temps cumulatif (s)	Temps cumulatif (min)
1	28,6	7,94	14,00	42,00	42,00	0,70
2	29,2	8,11	13,70	41,10	83,10	1,39

3	29,8	8,28	13,40	40,20	123,30	2,06
4	30,4	8,44	13,20	39,60	162,90	2,72
5	31	8,61	12,90	38,70	201,60	3,36
6	31,6	8,78	12,70	38,10	239,70	4,00
7	32,2	8,94	12,40	37,20	276,90	4,62
8	32,8	9,11	12,20	36,60	313,50	5,23
9	33,4	9,28	12,00	36,00	349,50	5,83
10	34	9,44	11,80	35,40	384,90	6,42
11	34,6	9,61	11,60	34,80	419,70	7,00
12	35,2	9,78	11,40	34,20	453,90	7,57
13	35,8	9,94	11,20	33,60	487,50	8,13
14	36,4	10,11	11,00	33,00	520,50	8,68
15	37	10,28	10,80	32,40	552,90	9,22
16	37,6	10,44	10,60	31,80	584,70	9,75
17	38,2	10,61	10,50	31,50	616,20	10,27
18	38,8	10,78	10,30	30,90	647,10	10,79
19	39,4	10,94	10,20	30,60	677,70	11,30
20	40	11,11	10,00	30,00	707,70	11,80
21	40,6	11,28	9,90	29,70	737,40	12,29
22	41,2	11,44	9,70	29,10	766,50	12,78
23	41,8	11,61	9,60	28,80	795,30	13,26
24	42,4	11,78	9,40	28,20	823,50	13,73
25	43	11,94	9,30	27,90	851,40	14,19
26	43,6	12,11	9,20	27,60	879,00	14,65
27	44,2	12,28	9,10	27,30	906,30	15,11
28	44,8	12,44	8,90	26,70	933,00	15,55
29	45,4	12,61	8,80	26,40	959,40	15,99
30	46	12,78	8,70	26,10	985,50	16,43
31	46,6	12,94	8,60	25,80	1011,30	16,86
32	47,2	13,11	8,50	25,50	1036,80	17,28
33	47,8	13,28	8,40	25,20	1062,00	17,70
34	48,4	13,44	8,30	24,90	1086,90	18,12
35	49	13,61	8,20	24,60	1111,50	18,53
36	49,6	13,78	8,10	24,30	1135,80	18,93
37	50,2	13,94	8,00	24,00	1159,80	19,33

À noter que la bande sonore se rend jusqu'à une vitesse maximale de 50,2 km/h (dernier palier possible). Bien qu'il soit pratiquement impossible qu'un athlète puisse se rendre aussi loin dans le test (palier n°37) s'il débute au premier palier (à cause de l'accumulation de charge de travail), nous savons qu'ils arrivent tout de même à tenir des vitesses près de 8,20 s/tour pour 2 ou 3 tours en situation d'entraînement. Ainsi, en allongeant la trame sonore jusqu'à une valeur référence de 8,00 s/tour, on permet alors aux entraîneurs d'utiliser la trame sonore pour dicter une vitesse de patinage à suivre (sans nécessairement débiter au premier palier).

Il est important de mentionner que la façon dont le test est construit, la vitesse augmentant de 0,6 km/h à chaque palier augmente ainsi la vitesse de façon linéaire tout au long du test (voir Figure 3.1 3.1).

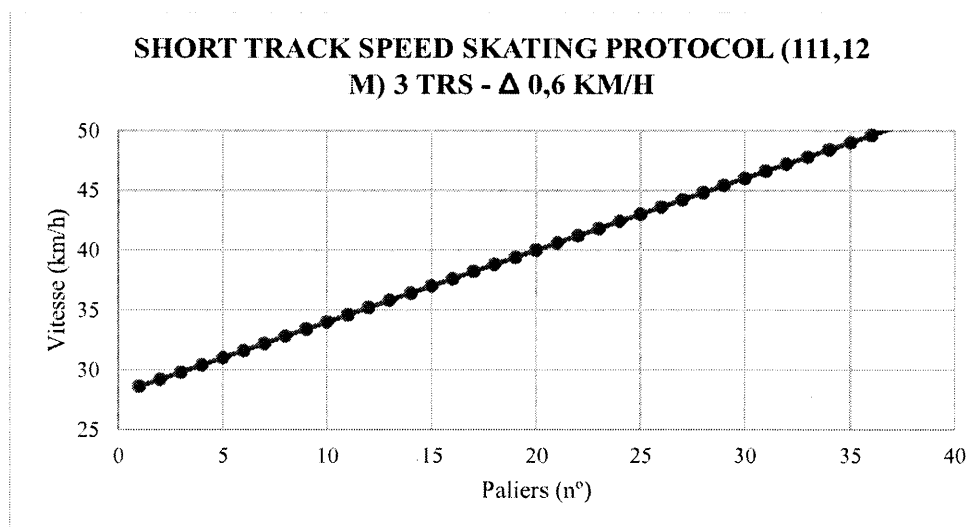


Figure 3.1 Progression linéaire pour une incrémentation de 0,6 km/h par palier

Quatre cônes sont placés sur la circonférence du trajet sur la glace pour diviser le circuit en quatre quarts (voir Figure 3.23.2). La bande sonore est conçue de sorte à annoncer

chaque changement de palier « *Palier 1, Palier 2...* » et comprend quatre signaux sonores par tour. En ce sens, chaque signal sonore dicte le moment où le patineur devrait se trouver vis-à-vis un cône. Le patineur s'y fie donc pour ajuster sa vitesse de patinage. Le premier signal (sur 4) est d'une tonalité différente (plus aigües) des trois autres (plus grave). Ainsi, advenant que l'athlète prenne du retard ou de l'avance quant à la vitesse indiquée sur son parcours, on saurait toujours se repérer pour reprendre le fil. En entendant le timbre sonore plus aigu, le patineur devrait toujours passer vis-à-vis la ligne de départ (premier cône). Le patineur doit donc suivre le rythme des incréments de vitesse jusqu'à épuisement, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'il n'arrive plus à maintenir la vitesse instaurée (en retard aux cônes sur trois signaux sonores consécutifs) ou par arrêt volontaire. La vitesse atteinte lors du dernier palier qui aura été complété en entier représentera la VAM du patineur.

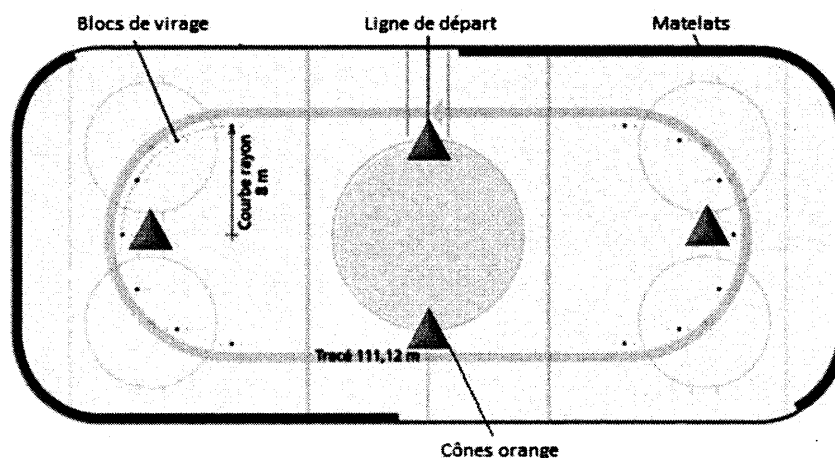


Figure 3.2 Schéma de la glace olympique de courte piste avec les 4 cônes

3.2 Mesures

Les données de la consommation d'oxygène obtenues durant les tests sur glace et sur ergocycle ont été recueillies à l'aide d'un analyseur métabolique portable (MetaMax 3B, Cortex Medical D.A.). Celui-ci nous a permis de mesurer entre autres les valeurs de consommation d'oxygène (VO_2), de production de dioxyde de carbone (VCO_2), les fréquences cardiaques (FC), le volume courant (V_T), le ratio d'échange respiratoire (RER) et la ventilation (V_E) de chaque participant durant toute la tenue des tests. Les FC ont également été prises à l'aide d'un cardiofréquencemètre et d'une montre *Polar V800* (Polar Electro ©) en guise de seconde prise de mesure, advenant qu'on perde momentanément celles apparaissant sur l'analyseur métabolique durant un test. La perception de l'effort cardiovasculaire et musculaire a été évaluée de manière subjective pour chaque participant après avoir complété les tests en leur présentant l'échelle de Borg (6-20) (voir Annexe D). La lactatémie a été mesurée à l'aide d'échantillons sanguins (gouttes de sang) prélevés à l'aide du lecteur (Lactate Pro, Akyra, JP) sur le bout de l'index ou du majeur 3 fois après l'effort (récupération passive); soit après 1, 5 et 15 minutes suivant l'arrêt du participant aux tests.

De plus, en lien avec notre hypothèse de restriction au niveau de l'oxygénation des membres inférieurs en position accroupie lors du patinage, nous y avons mesuré l'oxymétrie musculaire de la microcirculation locale par spectrométrie près de l'infrarouge (NIRS, *near-infrared spectrometry*) à l'aide de *Moxy* (Fortiori Design LLC, USA). Puisque les deux jambes du patineur n'effectuent pas les poussées de façon identique (dans les virages notamment), deux appareils *Moxy* ont été utilisés, soit un sur chaque jambe. En utilisant deux appareils, notre but était de vérifier si allait remarquer une différence au niveau de la saturation entre la jambe à l'intérieur du virage, exécutant un grand rôle de support du corps et de poussées par action majoritaire des muscles adducteurs de la hanche, et la jambe à l'extérieur du virage qui

elle effectue ses poussées par action majoritaire des muscles abducteurs de la hanche. En se basant sur la méthodologie d'études antérieures, les appareils ont été positionnés sur les vastes latéraux des quadriceps (Hesford, Catherine Mary *et al.*, 2012; Shibuya et Tanaka, 2003), là où avait été rapportée une désaturation en oxygène plus élevée (Foster *et al.*, 1999; Rundell, K. W. *et al.*, 1997). Dans notre cas, les appareils ont été positionnés à 3 cm au-dessus de l'insertion distale du vaste externe plus précisément. Les données quant aux poids et grandeur des participants ont aussi été recueillies avant chaque premier test, à l'aide d'une balance et d'une toise, afin d'intégrer le tout au logiciel de l'analyseur métabolique portable.

3.3 Matériel d'évaluation utilisé

- Glace olympique (111, 12 mètres)
- Ergocycle (Lode Escalibur Sport 910900, Groningen, Netherlands)
- Analyseur métabolique portable (MetaMax 3B, Cortex Medical DE)
- Cardiofréquencemètre (Polar V800, Polar Electro ©, Fi)
- NIRS (Moxy, Fortiori Design LLC, USA) (n=2)
- Lecteur de lactatémie (Lactate Pro, Akyra, JP)
- Cônes orange (n=4)
- Blocs noirs (n=14)
- Trame sonore du test de palier sur glace
- Échelle de Borg (6-20)
- Balance
- Toise
- Chronomètre

3.4 Participants

Un total de 24 patineurs courte piste, hommes et femmes entre 15 et 26 ans, de niveaux compétitifs junior et senior, ont été recrutés pour exécuter les épreuves sur glace et sur ergocycle.

Le niveau élite senior débute normalement dans les alentours de 18 ans. Toutefois, il n'est pas rare de voir des patineurs juniors se hisser dans les compétitions élites s'ils sont suffisamment talentueux et prêts à courser contre les meilleurs. Tenant aussi en compte le fait que le test sur glace permettrait aux entraîneurs de situer leurs plus jeunes athlètes dans leur rang, nous avons décidé d'inclure des patineurs de moins de 18 ans (15 ans et plus) dans notre étude. Puis, étant donné qu'au moment d'exécuter le projet pilote, l'athlète la plus vieille sur l'équipe nationale avait 35 ans (Speed Skating Canada, 2017), nous avons décidé d'ouvrir notre échantillon jusqu'à cet âge. Les patineurs devaient être de niveau compétitif provincial ou plus élevé. Tous ceux éprouvant une blessure ou maladie limitant la pratique de l'activité physique (approuvé par le médecin de l'équipe) étaient exclus de l'étude.

Une approbation du comité éthique a préalablement été obtenue du CERPE (comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants) de la faculté de sciences et de la faculté des sciences de l'éducation de l'UQAM (voir Annexe E). Un formulaire de consentement a été lu et signé par chaque participant d'âge majeur (Annexe A), ainsi que par le parent/tuteur et participant d'âge mineur (Annexe B), avant de pouvoir prendre part au projet de recherche.

3.5 Procédures

Les prises de données devaient être exécutées avec un minimum de 48 heures entre la passation du test sur glace et celui sur ergocycle, et un maximum de 8 jours entre les deux tests (voir Figure 3.3). Préférentiellement, nous essayions d'exécuter les deux tests dans les mêmes heures de la journée pour chaque participant afin d'aller chercher des conditions d'éveil et d'énergie des plus semblables.

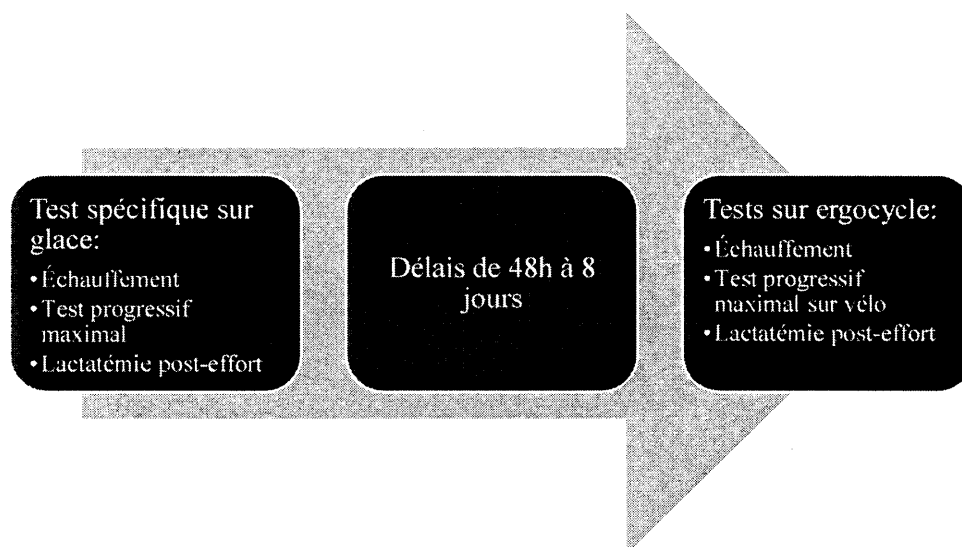


Figure 3.3 Schéma de la procédure expérimentale à travers le temps

Tel qu'indiqué dans le formulaire de consentement, les participants devaient éviter de manger de repas dans les 2 heures précédant la tenue d'un test et idéalement ne pas avoir fait d'effort physique le jour même (Gore et Fuller, 2013). Il leur avait également été demandé d'être bien hydraté avant les tests, de ne pas avoir pris de stimulant (café, boisson énergétique, thé, cigarette) dans les 6 heures précédentes, ni bu d'alcool dans les 12 heures précédant la tenue de chaque test.

Il est important de noter que chaque athlète était tenu de faire l'échauffement qu'il a l'habitude de faire avant un entraînement ou une course sur glace (avant d'effectuer le test sur glace), et l'échauffement qu'il a l'habitude de faire avant un entraînement ou évaluation sur ergocycle (avant d'effectuer le test sur ergocycle).

3.5.1 Procédures avant le test sur glace

1. Avant toute chose, s'assurer que le participant a signé et remis son formulaire de consentement.
2. Prendre les données anthropométriques du participant (taille, poids) et les inscrire sur la fiche du participant (voir Annexe C) avec l'âge de celui-ci, ainsi que dans le logiciel de l'analyseur métabolique portable afin de créer le profil de l'athlète.
3. L'athlète peut aller faire son échauffement.
4. Pendant ce temps, calibrer l'analyseur métabolique.
5. Après le surfacage de la glace (passage de la Zamboni), 14 blocs noirs (sept dans chaque virage) doivent être installés sur la piste afin de délimiter le circuit et d'ainsi identifier les couloirs des deux virages (voir Figure 5).
6. Placer les quatre cônes à l'intérieur de la piste pour diviser le tracé en quatre quarts (un à chaque apex et un à chaque milieu de bout droit) afin que l'athlète puisse se synchroniser avec les timbres sonores et son passage vis-à-vis les cônes (voir Figure 5).
7. Dans la chambre des athlètes, installer et coller les appareils NIRS au niveau des vastes latéraux de quadriceps des deux jambes du participant, 3 cm au-dessus de l'insertion distale du vaste externe, en dessous de leur combinaison (directement sur la peau). Placer une bande de tissu noir par-dessus chaque

appareil pour s'assurer de couper la lumière et de les protéger de tout accrochage possible afin qu'ils restent bien en place.

8. Installer la courroie thoracique du cardiofréquencemètre en dessous de la poitrine de l'athlète, directement sur la peau, de façon assez ajustée pour que la courroie tienne bien en place, mais dans la limite où l'athlète ne se sent pas gêné dans ses mouvements et sa respiration. Le patineur peut maintenant enfiler au complet sa combinaison par-dessus les appareils.
9. Le patineur est ensuite invité à venir s'asseoir sur une chaise à la station où est calibré l'analyseur métabolique et où les ordinateurs de prise de données sont disposés, près de la glace. Le reste des appareils (voir ci-après) devaient être installés avant que le participant n'enfile ses patins et son casque.
10. Déterminer la taille du masque appropriée pour le visage du participant. Le masque doit être bien ajusté au niveau du nez et de la bouche pour qu'il n'y ait pas de fuites d'air.
11. Installer l'analyseur métabolique portatif calibré selon les directives du fabricant. Le harnais de l'appareil comportant les modules, normalement portés vers l'avant sur le haut de la poitrine, aura été modifié de sorte que les modules sont portés dans le haut dos. Ainsi, l'athlète n'est pas gêné dans son inclinaison du tronc vers l'avant et dans ses mouvements de patinage.
12. Terminer la dernière étape de calibration de l'appareil, alors que le masque et l'analyseur métabolique sont en place sur le participant.
13. Installer la montre Polar au poignet de l'athlète
14. Synchroniser le démarrage de l'enregistrement de l'analyseur métabolique, de la montre Polar et des appareils NIRS.
15. Après s'être assuré que les logiciels de l'analyseur métabolique et du NIRS affichent bien les données de lecture en temps réel et que les enregistrements sont bien démarrés, l'athlète peut aller attacher ses patins et mettre son casque à l'entrée de la patinoire.

16. L'athlète peut ensuite prendre position sur la glace et patiner quelques tours doucement dans le but de s'assurer que tous les appareils tiennent bien en place et qu'il se sent à l'aise dans ses mouvements. Il y a ajustements du harnais au besoin.
17. Rappel des lignes directrices du test à l'athlète (détails sur les incréments et critères d'arrêt). Demander au participant s'il a des questions.
18. S'assurer que le volume de la bande sonore du test soit suffisamment fort pour que l'athlète puisse bien entendre les paliers lorsqu'il sera en action.
19. Lorsque le patineur se sent prêt à commencer, il fait un départ lancé, c'est-à-dire qu'il ne fait pas un départ rapide en partant d'une position à l'arrêt sur la ligne de départ, mais qu'il prend son élan de l'apex. Nous débutons la bande sonore au moment où il passe sur la ligne de départ.

Le test débute.

3.5.2 Déroulement du test de paliers progressifs sur glace pour patinage de vitesse courte piste

- Le patineur doit suivre le parcours à la vitesse dictée par la bande sonore pour chaque palier, en essayant le plus possible d'arriver à chaque cône en même temps que chaque signal sonore (4 par tour).
- Le test débute à une vitesse de 28,6 km/h (14,0 s/tour). On augmente de palier à chaque 3 tours de piste, alors que le patineur doit augmenter la vitesse de patinage de 0,6 km/h chaque fois.
- Chaque changement de palier est indiqué sur la bande sonore (« *Palier 1* », « *Palier 2* », etc.). Les temps au tour sont également dictés de vive voix à l'athlète à quelques moments durant son test pour qu'il se donne une idée de la vitesse de patinage sur le moment (les athlètes étant habitués de savoir la vitesse à

laquelle il patine, puisque les entraîneurs ont l'habitude de leur dire instantanément en entraînement).

- Le patineur doit continuer l'effort jusqu'à épuisement (cardiovasculaire ou musculaire). Le test prend fin lorsque l'athlète arrête par lui-même ou nous arrêtons nous-mêmes la bande audio si l'athlète n'arrive plus à suivre le rythme (en retard sur 3 signaux sonores consécutifs). Inévitablement, le test prend fin en cas de chute du patineur durant le parcours.
- Au moment où l'athlète arrête, nous démarrons un chronomètre pour préparer les prises de lactatémie post-effort et nous invitons l'athlète à venir s'asseoir sur la chaise au centre de la patinoire (où est installée la station de prise de lactatémie sur table haute) lorsqu'il s'en sentira capable.
- Le patineur retire le gant de sa main (main qu'il aura préféré utiliser pour la prise de lactatémie) et nous nettoyons le bout d'un de ses doigts à l'aide d'un tampon d'alcool.
- Nous demandons au patineur sa perception de l'effort cardiovasculaire et musculaire à l'aide de l'échelle de Borg (de 6 à 20).
- Lorsque 1 minute est passée depuis l'arrêt de l'effort, nous procédons à la première prise de lactatémie post-effort.
- Lorsque 5 minutes sont passées depuis l'arrêt de l'effort, nous procédons à la deuxième prise de lactatémie post-effort.
- L'athlète peut retourner au banc à l'extérieur de la patinoire où on l'aidera à retirer son casque, le masque, la montre et le harnais contenant l'analyseur métabolique.
- Lorsque 15 minutes sont passées depuis l'arrêt de l'effort, nous procédons à la troisième prise de lactatémie post-effort.
- L'athlète peut se diriger vers la chambre des athlètes pour retirer la courroie cardiofréquence-mètre et les NIRS sous sa combinaison, qui seront récupérés et nettoyés.

3.5.3 Procédures avant le test sur ergocycle

1. Récupérer le profil du participant dans le logiciel de l'analyseur métabolique créé lors de la première utilisation, ainsi que sa fiche du participant.
2. L'athlète fait son échauffement.
3. Calibrer l'analyseur métabolique.
4. Dans la chambre des athlètes, installer et coller les appareils NIRS au niveau des vastes latéraux de quadriceps des deux jambes du participant, 3 cm au-dessus de l'insertion distale du vaste externe, en dessous de leur combinaison (directement sur la peau). Placer une bande de tissu noir par-dessus chaque appareil pour s'assurer de couper la lumière et de les protéger de tout accrochage possible afin qu'ils restent bien en place.
5. Installer la courroie thoracique du cardiofréquencemètre en dessous de la poitrine de l'athlète, directement sur la peau, de façon assez ajustée pour que la courroie tienne bien en place, mais dans la limite où l'athlète ne se sent pas gêné dans ses mouvements et sa respiration. Le patineur peut maintenant enfiler ses vêtements de sport par-dessus les appareils, puis venir rejoindre le groupe de recherche.
6. Ajuster le siège de l'ergocycle selon le participant, de manière à ce qu'on retrouve une légère flexion au genou lorsque la jambe est au point le plus bas du mouvement cyclique de pédalage (Cink et Thomas, 1981) et que l'athlète se sente confortable.
7. Le participant peut venir s'asseoir sur la chaise à la station où les ordinateurs de prise de données sont disposés, à côté de l'ergocycle. Installer le masque et l'analyseur métabolique portatif calibré. Le harnais de l'appareil sera cette fois-ci porté de la façon traditionnelle, c'est-à-dire les modules orientés vers l'avant.

8. Terminer la dernière étape de calibration de l'appareil, alors que le masque et l'analyseur métabolique sont bien en place sur le participant.
9. Installer la montre Polar au poignet de l'athlète
10. Synchroniser le démarrage de l'enregistrement de l'analyseur métabolique, de la montre Polar et des appareils NIRS.
11. Après s'être assuré que les logiciels de l'analyseur métabolique et du NIRS affichent bien les données de lecture en temps réel et que les enregistrements sont bien démarrés, l'athlète peut prendre place sur l'ergocycle et s'assurer qu'il se sent à l'aise et que rien ne restreint ses mouvements. Ajustements du harnais au besoin.
12. Rappel des lignes directrices du test à l'athlète (détails sur les incréments et critères d'arrêt). Demander au participant s'il a des questions.

Le test peut commencer.

3.5.4 Déroulement du test sur ergocycle

- Le participant est prévenu qu'il doit maintenir une position où les mains sont appuyées sur le guidon de l'ergocycle durant l'entière tenue du test. Ainsi, on lui spécifie qu'il ne peut déposer les coudes sur le guidon (en position plus aérodynamique).
- Un échauffement de 3 min est établi à une résistance de 100 W, selon un protocole d'Åstrand modifié (Heyward et Gibson, 2014). Le participant devra y pédaler à une vitesse constante entre 80-90 rpm, et ce pour la durée totale du test.
- Après cet échauffement, le participant maintient cette cadence et suit les incréments en résistance de l'ordre de 30 W chaque minute jusqu'à

épuisement (cardiovasculaire ou musculaire) ou le test prend fin s'il n'arrive plus à maintenir la cadence en haut de 80 rpm.

- Au moment où l'athlète arrête, nous démarrons un chronomètre pour préparer les prises de lactatémie post-effort, nous enlevons la résistance de l'ergocycle et suggérons à l'athlète de continuer de pédaler très doucement afin de faire un retour au calme.
- Nous nettoyons le bout d'un doigt du participant à l'aide d'un tampon d'alcool et lui demandons sa perception de l'effort cardiovasculaire et musculaire à l'aide de l'échelle de Borg (de 6 à 20).
- Lorsque 1 minute est passée depuis l'arrêt de l'effort, nous procédons à la première prise de lactatémie post-effort.
- Lorsque 5 minutes sont passées depuis l'arrêt de l'effort, nous procédons à la deuxième prise de lactatémie post-effort.
- L'athlète peut débarquer de l'ergocycle et s'asseoir sur la chaise où on l'aidera à retirer son casque, le masque, la montre et le harnais contenant l'analyseur métabolique.
- Lorsque 15 minutes sont passées depuis l'arrêt de l'effort, nous procédons à la troisième prise de lactatémie post-effort.
- L'athlète peut se diriger vers la chambre des athlètes pour retirer la courroie cardiofréquence-mètre et les NIRS, qui seront récupérés et nettoyés.

3.6 Mesures de sécurité

En ce qui a trait aux mesures de sécurité durant l'exercice, les critères d'arrêt étaient toujours mentionnés aux participants avant la tenue des tests. S'il advenait qu'un participant sente un malaise, douleur intense ou quoi que ce soit durant un exercice, il pouvait évidemment cesser l'effort à tout moment. Toutefois les athlètes étant habitués

de donner des efforts intenses, il y a donc beaucoup moins de risque de malaise qu'avec une population inactive. À noter également qu'il y avait toujours minimalement un membre de l'équipe de recherche qui détenait sa qualification de premiers soins/RCR/DEA à jour. De plus, un défibrillateur est obligatoirement en place dans chaque aréna.

Il faut mentionner dans cette section qu'il y a toujours une possibilité pendant le test sur glace que le patineur chute. Il faut toutefois prendre en compte que les chutes surviennent la plupart du temps dans un contexte de compétition alors que plusieurs patineurs courent en même temps et se bousculent entre eux. Ici, comme nos participants effectuent leur test sur glace un à la fois, ils ont davantage la possibilité de se concentrer à la tâche et ainsi beaucoup moins de chance de tomber. Néanmoins, des mesures de sécurité sont toujours prises à disposition. De ce fait, dû aux virages très serrés sur le parcours, des matelas sont installés de manière à contourner l'intérieur de la bande de la patinoire. Il s'agit de coussins en polyuréthane résistants à l'eau et aux coupures, d'une épaisseur d'au moins 20 cm et faisant au moins 1 mètre de haut (SSC, 2015) qui sont attachés les uns aux autres, ainsi qu'à la bande, à l'aide de bandes velcro. Ces matelas sont essentiels afin d'amortir le choc lorsqu'un patineur fait une chute et glisse vers la bande afin de minimiser le risque de blessures graves. Pour la tenue des tests sur glace, nous nous assurerons également que chaque patineur porte son équipement de patin régulier; son casque protecteur, ses gants résistants aux coupures, ainsi que sa combinaison de patinage communément appelée « *skin* ». L'intérieur de celle-ci est fait en kevlar ce qui lui apporte une propriété anti-coupure. On retrouve également à l'intérieur de cette combinaison des protège-genoux, tibias et cou.

À noter que le fait de passer les participants un à un durant les tests permet également d'éviter tout biais au niveau des performances dû à l'effet de « sillonnage » qui peut se produire lors du patinage en groupe. On parle souvent de ce principe, notamment en cyclisme, plus communément appelé *drafting* dans le jargon. En effet, il avait été révélé

dans le passé que cet effet pouvait avoir une influence sur la performance d'un athlète sur glace en temps au tour, allant jusqu'à 9% (Schenau *et al.*, 1987).

3.7 Limites

Une des principales limites aux tests sur glace est qu'il est plus difficile de reproduire la même situation pour chaque prise de données, puisqu'on n'a que rarement la même qualité de glace pour chaque participant ou dans chaque aréna. En effet, selon l'ancien patineur Emmanuel Michon, les patins s'enfoncent plus profondément dans la glace si elle est trop molle, ce qui causerait une force de friction plus élevée (Michon, 2012). Il mentionne également dans son livre que le coefficient de frottement a aussi tendance à augmenter à haute vitesse. Ce point ayant été appuyé par plusieurs autres auteurs (de Koning, J. J. *et al.*, 1992; Schenau *et al.*, 1987). Michon rajoute que cet aspect semble être moins important lorsque la glace est plus dure. On suggère donc de faire une réfection de la glace avec la Zamboni avant d'effectuer des tests, puisque « après une réfection de glace suivie d'une pause de 20 min, les frottements diminuent de 12% si l'on utilise 0,161 l/m² et de 7% avec plus d'eau (0,40 l/m²) » (Michon, 2012). Dans le but d'être le plus fidèle possible, nous nous sommes assurés d'une réfection de la glace entre un maximum de 3 participants (même moins, lorsque possible). Si le passage de la Zamboni était impossible entre chaque test, des seaux d'eau étaient utilisés afin de rafraîchir le parcours.

Dans le but de limiter ces excès de variations au niveau du tracé sur la glace lors du patinage entre chaque tour ou chaque participant, des blocs noirs déjà normalement utilisés par les clubs de patin de vitesse pour déterminer les trajets sur la glace ont été disposés sur la glace pour délimiter le parcours dans les deux virages, ce qui a eu pour effet de minimiser les différences de circonférence de tracés.

Le fait que les paliers du test n'ont pas tous la même durée constitue une autre limite notable. En effet, le premier palier dure 42 s alors que, par exemple, le 16^e palier en dure 31,8 s. Ainsi, plus la vitesse augmente en avançant dans le test et moins il est possible d'atteindre un état stable puisque les paliers deviennent de plus en plus courts. La décision de créer le test de la sorte a été prise puisque si nous avions gardé des temps de paliers fixes malgré une vitesse de patinage allant sans cesse en augmentant, les moments précis de changements de palier se seraient toujours exécutés à des endroits différents sur le tracé de 111,12 m. Dans ce sens, si chaque palier se termine ou commence à un endroit différent sur l'anneau de glace, et advenant le fait qu'un athlète prenne un peu d'avance ou de retard sur la vitesse dictée à un moment durant le test, on viendrait à ne plus savoir où l'athlète devrait réellement être situé. Pour éviter cette confusion, le timbre plus aigu sur la bande sonore, représentant chaque passage de l'athlète vis-à-vis la ligne de départ, nous assure en tout temps que l'athlète est au bon endroit et on sait ainsi s'il y a retard ou avance sur le parcours. Il devient ainsi beaucoup plus facile de diriger l'athlète en lui demandant de ralentir ou accélérer pour reprendre un bon rythme.

Finalement, la validité du test s'applique uniquement à des patineurs qui sont arrivés à un suffisant haut niveau de patinage. Le fait est que le test s'effectue à des vitesses pouvant devenir très rapides, les participants se doivent de posséder une bonne technique de patinage. Le test ne serait donc pas aussi pertinent pour des patineurs débutants qui en sont encore à bien apprendre le patron de croisé par exemple. Pour cette raison, nos critères d'inclusions nous assurent que les participants soient minimalement âgés de 15 ans et fassent partie d'une équipe de niveau provincial ou plus avancé (compétitive).

3.8 Analyses statistiques

L'analyse statistique des variables a été effectuée avec le logiciel *Statistical Package for Social Sciences* (IBM SPSS Statistics v.21) et les graphiques créés avec le logiciel *SigmaPlot 11.0*.

Les caractéristiques physiques des participants ont été analysées par analyses statistiques descriptives. Les différents paramètres cardiorespiratoire par palier ainsi qu'en tant que valeurs maximales, la perception de l'effort et l'oxygénation musculaire, ont été comparées par test-T pour échantillons appariés afin d'observer si une différence significative ($p < 0,05$) existe entre les valeurs obtenues entre les deux tests progressifs maximaux. À l'aide d'une régression linéaire, il nous a été possible de déterminer une équation de prédiction afin d'estimer la consommation d'oxygène en absolu (L/min) d'un patineur à une certaine vitesse de patinage donnée, ce qui nous a également permis de créer un tableau d'estimation du VO_2 max selon le dernier palier complété. Nous avons aussi créé une équation de régression à partir de la relation puissance exprimée en watts sur ergocycle en fonction du VO_2 . Cette équation nous a permis d'extrapoler la puissance (W) déployée sur glace à partir du VO_2 estimé sur glace. Il est à noter que les différentes variables recueillies à l'aide de l'analyseur métabolique en mode respiration par respiration (*breath x breath*) ont été moyennées aux 10 s.

CHAPITRE IV

RÉSULTATS

La section suivante présente les résultats obtenus avec les patineurs lors de la passation des deux tests, soit celui sur glace et celui sur ergocycle. Il sera d'abord question de présenter les caractéristiques physiques de l'ensemble des participants. Puis, seront montrées les valeurs obtenues pour chaque palier lors du test sur glace selon la vitesse de patinage et l'équation d'estimation du $VO_2\text{max}$ qui aura été possible de créer à l'aide d'une analyse de régression des moindres carrés. Ensuite, les valeurs maximales seront comparées à celles obtenues au test sur ergocycle. Finalement, les tableaux d'estimation du $VO_2\text{max}$ et d'équivalence de travail entre vitesse de patinage sur glace et puissance (en watts) seront présentés.

4.1 Participants

La présente section présente les caractéristiques physiques des vingt-quatre participants qui ont pris part au projet (Tableau 4.1). Une analyse statistique descriptive nous a permis de déterminer les moyennes d'âge, de taille et de poids des participants, et ce selon le nombre d'hommes et de femme.

Tableau 4.1 Caractéristiques physiques des participants

	Femmes (n=11)	Hommes (n=13)	Tous (n=24)
Âge (années)	18,6±0,9	20,5±0,9	19,6±3,2
Taille (cm)	167,2±1,3	175±1,7	171,5±6,6
Poids (kg)	63,6±1,5	69,8±1,8	66,9±6,6
Moyenne±ET			

4.2 Résultats des paramètres cardiorespiratoires obtenus au test sur glace par palier

4.2.1 La consommation d'oxygène au test sur glace

La présente section présente les moyennes de consommation d'oxygène durant le test sur glace pour chaque palier. Dans le tableau suivant (Tableau .2), les moyennes en valeurs absolues et relatives sont présentées pour chaque palier selon leur vitesse de patinage associée. À noter que le palier zéro (0) réfère à une prise de mesure effectuée au repos (avant l'épreuve physique sur glace).

Tableau 4.2 Moyennes de la consommation d'oxygène par palier lors du test sur glace

Paliers (N°)	Vitesse (km/h)	Vitesse (m/s)	VO ₂ (L/min)	VO ₂ (ml/kg/min)
0	-	-	0,51±0,12 (n=23)	7,7±1,54 (n=23)
1	28,6	7,94	2,29±0,29 (n=23)	34,3±2,77 (n=23)
2	29,2	8,11	2,41±0,30 (n=23)	36,0±3,02 (n=23)
3	29,8	8,28	2,49±0,32 (n=23)	37,0±2,74 (n=23)
4	30,4	8,44	2,56±0,32 (n=23)	38,3±3,29 (n=23)
5	31,0	8,61	2,73±0,37 (n=23)	40,7±3,49 (n=23)
6	31,6	8,78	2,79±0,35 (n=22)	41,6±3,11 (n=22)
7	32,2	8,94	2,87±0,38 (n=22)	42,8±3,51 (n=22)
8	32,8	9,11	2,99±0,35 (n=22)	44,6±3,57 (n=22)
9	33,4	9,28	3,13±0,37 (n=20)	45,9±3,55 (n=20)
10	34,0	9,44	3,33±0,31 (n=16)	47,8±3,23 (n=16)
11	34,6	9,61	3,39±0,37 (n=15)	48,7±4,17 (n=15)
12	35,2	9,78	3,55±0,45 (n=12)	49,6±6,02 (n=12)
13	35,8	9,94	3,72±0,39 (n=10)	52,5±5,32 (n=11)
14	36,4	10,11	3,60±0,44 (n=7)	51,7±6,70 (n=7)
15	37,0	10,28	3,89 (n=1)	50,0 (n=1)
16	37,6	10,44	3,91 (n=1)	49,0 (n=1)

Moyenne±ÉT

À titre indicatif, le tableau suivant (Tableau 4.3) présente les données de consommation d'oxygène obtenues cette fois lors du test sur ergocycle.

Tableau 4.3 Moyennes de la consommation d'oxygène par palier lors du test sur ergocycle

Paliers (N°)	Puissance (W)	VO ₂ (L/min)	VO ₂ (ml/kg/min)
0	(Repos)	0,57±0,16 (n=22)	8,6±2,5 (n=22)
1	100	1,67±0,11 (n=23)	25,0±2,3 (n=23)
2	130	1,97±0,12 (n=23)	29,5±2,6 (n=23)
3	160	2,23±0,14 (n=23)	33,3±2,9 (n=23)
4	190	2,55±0,18 (n=23)	38,3±3,7 (n=23)
5	220	2,81±0,19 (n=23)	42,4±3,8 (n=23)
6	250	3,12±0,24 (n=23)	46,8±2,9 (n=23)
7	280	3,44±0,34 (n=22)	51,5±3,4 (n=22)
8	310	3,92±0,24 (n=18)	57,0±5,0 (n=18)
9	340	4,20±0,37 (n=14)	59,8±3,3 (n=14)
10	370	4,58±0,41 (n=10)	63,7±5,9 (n=10)
11	400	4,80±0,35 (n=8)	64,8±5,2 (n=8)
12	430	5,00±0,37 (n=4)	66,3±6,5 (n=4)
Moyenne±ÉT			

Revenons aux résultats obtenus au test sur glace. La figure suivante (Figure 4.1) présente les courbes de consommation d'oxygène en absolu (L/min) ainsi qu'en relatif (ml/kg/min) selon les vitesses de patinage réalisées lors du test progressif sur glace.

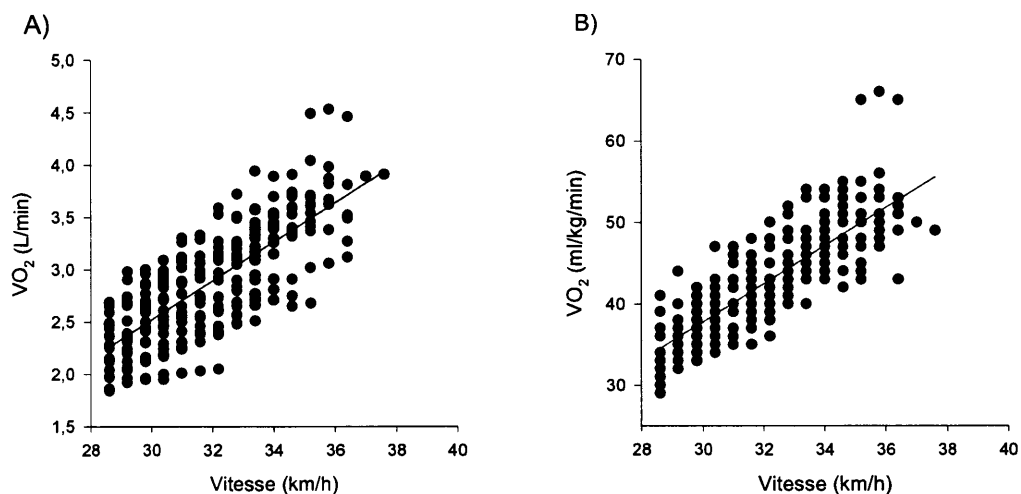


Figure 4.1 Consommation d'oxygène en absolu (A) (L/min) et en relatif (B) (ml/kg/min) selon les vitesses de patinage

4.2.2 Équation pour l'estimation du VO_{2max} selon le dernier palier complété lors de la passation du test sur glace

À l'aide des données de VO_2 sous-maximales et maximales de chaque sujet et d'une régression linéaire, il nous a été possible de déterminer une équation de prédiction afin d'estimer la consommation d'oxygène en absolu (L/min) d'un patineur à une certaine vitesse de patinage donnée. L'équation est donc la suivante ($r=0,77$, $p<0,0001$, $ETE=0,35$), où l'erreur type de l'estimé correspond à 9,7 % de la moyenne des VO_{2max} absolus atteints sur glace :

$$VO_2 \text{ (L/min)} = 0,1835 * V \text{ (km/h)} - 2,9815$$

L'équation de prédiction afin d'estimer la consommation d'oxygène en relatif (ml/kg/min) reste la même, à l'exception des valeurs de coefficients différentes suivantes ($r=0,79$, $p<0,0001$, $ETE=4,09$), ici donc prédit avec une erreur de 7,7 % :

$$\text{VO}_2 \text{ (ml/kg/min)} = 2,3237 * V \text{ (km/h)} - 32,1548$$

Nous proposons toutefois d'utiliser la formule en absolu comme référence, car la valeur de VO_2 relative peut être obtenue à l'aide du poids réel de la personne.

4.2.3 Les fréquences cardiaques au test sur glace

La présente section (Tableau 4.4) présente la moyenne des fréquences cardiaques atteintes, moyennées pour chaque 10 dernières secondes de fin de palier durant le test sur glace.

Tableau 4.4 Moyennes des fréquences cardiaques atteintes (moyennées aux 10 dernières secondes de chaque palier) par palier lors du test sur glace

Palier (N°)	Vitesse (km/h)	FC (bpm)	N
0	-	89±14,0	21
1	28,6	155±12,2	24
2	29,2	161±12,8	24
3	29,8	167±11,5	24
4	30,4	170±11,6	24
5	31,0	174±11,9	24
6	31,6	178±10,8	23
7	32,2	181±9,9	22
8	32,8	184±9,5	22
9	33,4	186±8,6	20
10	34,0	186±8,3	15
11	34,6	187±6,0	14
12	35,2	188±4,3	11
13	35,8	190±4,8	11
14	36,4	193±3,3	8
15	37,0	193	1
16	37,6	196	1

Moyenne±ÉT

4.2.4 Le volume courant au test sur glace

La présente section (Tableau 4.5) présente la moyenne de volume courant atteint, moyennée pour chaque 10 dernières secondes de fin de palier durant le test sur glace.

Tableau 4.5 Moyennes de volumes courants atteints (moyennées aux 10 dernières secondes de chaque palier) par palier lors du test sur glace

Palier (N°)	Vitesse (km/h)	V _T (L)	N
0	-	0,97±0,37	24
1	28,6	1,81±0,32	23
2	29,2	1,96±0,32	23
3	29,8	2,03±0,32	23
4	30,4	2,04±0,31	23
5	31,0	2,07±0,31	23
6	31,6	2,15±0,30	22
7	32,2	2,21±0,31	22
8	32,8	2,28±0,29	22
9	33,4	2,35±0,30	20
10	34,0	2,54±0,30	16
11	34,6	2,53±0,30	15
12	35,2	2,59±0,27	12
13	35,8	2,58±0,27	11
14	36,4	2,44±0,18	8
15	37,0	2,60	1
16	37,6	2,51	1

Moyenne±ÉT

4.2.5 La fréquence respiratoire au test sur glace

La présente section (Tableau 4.6) présente les fréquences cardiaques atteintes, moyennées pour chaque 10 dernières secondes de fin de palier durant le test sur glace.

Tableau 4.6 Moyennes de la fréquence respiratoire atteinte (moyennées aux 10 dernières secondes de chaque palier) par palier lors du test sur glace

Palier (N°)	Vitesse (km/h)	FR (resp/min)	N
0	-	21±6,4	24
1	28,6	36±5,4	24
2	29,2	39±6,8	24
3	29,8	40±7,0	24
4	30,4	41±8,2	24
5	31,0	44±10,1	24
6	31,6	45±8,4	23
7	32,2	47±10,2	22
8	32,8	49±8,9	22
9	33,4	50±7,6	20
10	34,0	50±6,3	16
11	34,6	52±6,6	15
12	35,2	55±6,1	12
13	35,8	59±6,4	11
14	36,4	63±6,2	8
15	37,0	68	1
16	37,6	79	1
Moyenne±ÉT			

4.2.6 La ventilation au test sur glace

La présente section (Tableau 4.7) présente la moyenne de ventilation atteinte, moyennée pour chaque 10 dernières secondes de fin de palier durant le test sur glace.

Tableau 4.7 Moyennes de ventilation atteintes (moyennées aux 10 dernières secondes de chaque palier) par palier lors du test sur glace

Palier (N°)	Vitesse (km/h)	V _E (L/min)	N
0	-	17,3±4,8	24
1	28,6	63,1±9,9	23
2	29,2	73,7±10,4	23
3	29,8	78,8±11,1	23
4	30,4	82,4±12,8	23
5	31,0	88,5±12,2	23
6	31,6	94,1±10,5	22
7	32,2	100,5±12,3	22
8	32,8	108,4±11,5	22
9	33,4	114,7±13,2	20
10	34,0	124,8±14,2	16
11	34,6	128,9±10,3	15
12	35,2	139,8±12,0	12
13	35,8	148,1±8,3	11
14	36,4	150,5±10,9	8
15	37,0	177,4	1
16	37,6	200,2	1

Moyenne±ÉT

4.2.7 Le ratio d'échange respiratoire au test sur glace

La présente section (Tableau 4.8) présente la moyenne de ratio d'échange respiratoire, moyenné pour chaque 10 dernières secondes de fin de palier durant le test sur glace.

Tableau 4.8 Moyennes de ratio d'échange respiratoire atteint (moyennées aux 10 dernières secondes de chaque palier) par palier lors du test sur glace

Palier (N°)	Vitesse (km/h)	RER	N
0	-	0,97±0,09	23
1	28,6	0,90±0,05	23
2	29,2	0,99±0,05	23
3	29,8	1,03±0,06	23
4	30,4	1,04±0,06	23
5	31,0	1,06±0,07	23
6	31,6	1,08±0,06	22
7	32,2	1,11±0,07	22
8	32,8	1,14±0,08	22
9	33,4	1,16±0,08	20
10	34,0	1,16±0,07	16
11	34,6	1,17±0,05	15
12	35,2	1,21±0,06	12
13	35,8	1,21±0,05	11
14	36,4	1,24±0,04	8
15	37,0	1,32	1
16	37,6	1,36	1

Moyenne±ÉT

4.2.8 L'oxymétrie musculaire au test sur glace

La présente section présente l'oxygénation musculaire des membres inférieurs lors du test sur glace ainsi que durant la période de récupération.

Le tableau suivant (Tableau 4.9) montre les moyennes d'oxygénation, moyennées pour chaque 10 dernières secondes de fin de palier durant le test sur glace, pour les deux jambes.

Tableau 4.9 Moyennes d'oxygénation musculaire des membres inférieurs atteints (moyennées aux 10 dernières secondes de chaque palier) par palier lors du test sur glace

Palier (N°)	Vitesse (km/h)	SmO ₂ jambe gauche (%)	SmO ₂ jambe droite (%)
0	-	69±6,7 (n=23)	67±7,7 (n=23)
1	28,6	26±11,4 (n=22)	19±12,2 (n=20)
2	29,2	26±11,6 (n=21)	20±12,2 (n=20)
3	29,8	25±10,8 (n=22)	19±11,0 (n=20)
4	30,4	25±9,9 (n=22)	19±10,4 (n=20)
5	31,0	23±9,4 (n=22)	17±10,1 (n=20)
6	31,6	21±8,5 (n=20)	15±8,7 (n=19)
7	32,2	19±8,4 (n=20)	13±7,4 (n=19)
8	32,8	17±7,7 (n=19)	12±6,8 (n=19)
9	33,4	17±7,3 (n=18)	13±5,4 (n=15)
10	34,0	15±6,6 (n=15)	10±5,2 (n=12)
11	34,6	14±6,8 (n=13)	9±5,5 (n=13)
12	35,2	13±7,4 (n=11)	10±5,3 (n=9)
13	35,8	14±6,7 (n=11)	11±5,2 (n=8)
14	36,4	14±5,7 (n=8)	11±5,5 (n=6)
15	37,0	8 (n=1)	3 (n=1)
16	37,6	8 (n=1)	7 (n=1)
Moyenne±ÉT			

Le graphique suivant (Figure 4.2) montre les différences d'oxygénation musculaire entre la jambe gauche et droite durant le test sur glace selon la vitesse. À noter que le temps zéro (0) réfère à une prise de mesure au repos (avant l'épreuve physique sur glace).

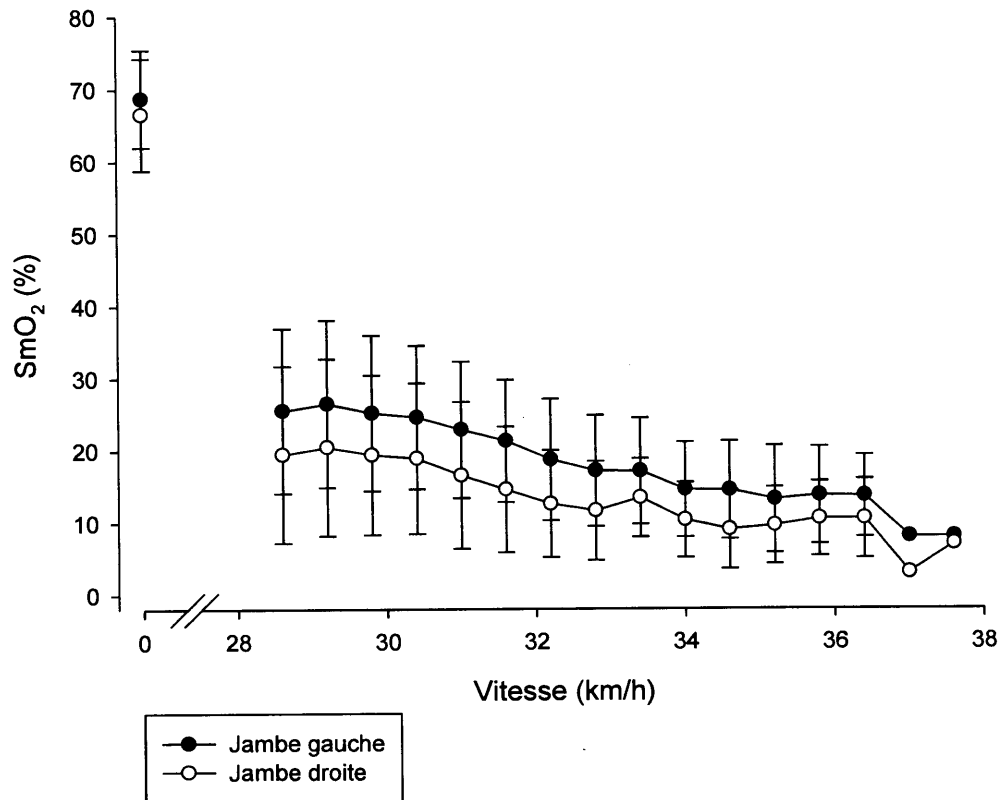


Figure 4.2 Courbes des moyennes d'oxygénation musculaire des membres inférieurs atteintes (moyennées aux 10 dernières secondes de chaque palier) par palier lors du test sur glace

Le tableau suivant (Tableau 4.10) montre les moyennes d'oxygénation des deux jambes aux 30 s pendant la récupération, et ce jusqu'à 3 min post-effort. À noter que le temps zéro (0) y représente le moment où l'athlète a arrêté l'effort durant le test. C'est à ce moment que le temps post-effort débute.

Tableau 4.10 Moyennes d'oxygénation musculaire des membres inférieurs prise à chaque 30 s pendant 3 min post-effort du test sur glace

Temps post-effort (s)	SmO ₂ jambe gauche (%)	SmO ₂ jambe droite (%)
0	15±7,8 (n=22)	10±6,9 (n=21)
30	36±8,2 (n=20)	31±14,6 (n=14)
60	58±12,9 (n=17)	59±12,1 (n=13)
90	63±16,2 (n=16)	66±11,1 (n=9)
120	73±4,8 (n=17)	70±13,7 (n=11)
150	76±6,0 (n=13)	73±13,2 (n=9)
180	77±5,5 (n=14)	74±10,7 (n=14)

Moyenne±ÉT

Le graphique suivant (Figure 4.3) montre les différences d'oxygénation musculaire entre la jambe gauche et droite aux 30 s pendant la récupération, et ce jusqu'à 3 min post-effort.

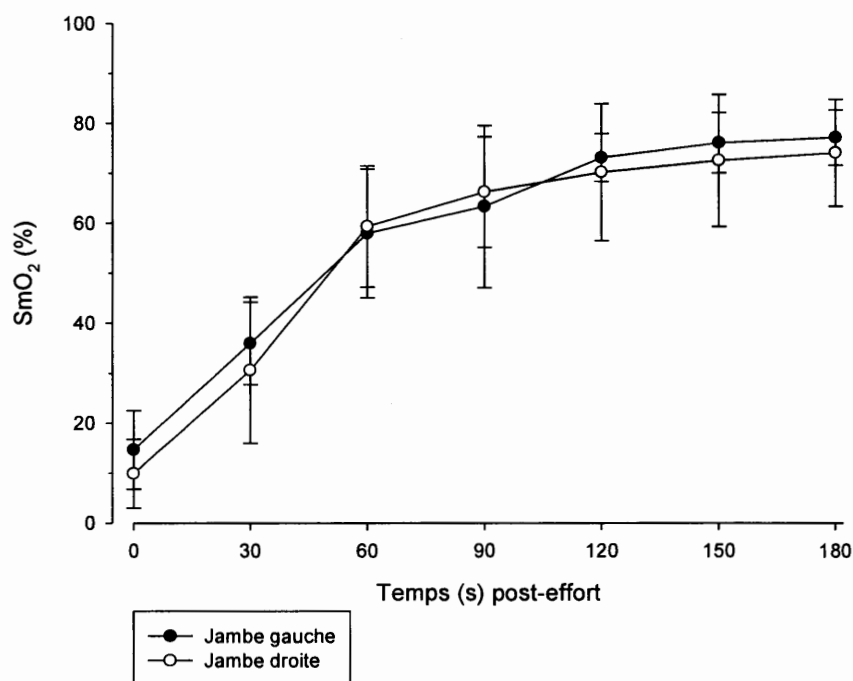


Figure 4.3 Courbes des moyennes d'oxygénation musculaire des membres inférieurs pour à chaque 30 s pendant 3 min post-effort du test sur glace

4.2.9 La perception de l'effort au test sur glace

La présente section (Tableau 4.11) présente la moyenne de perception de l'effort cardiorespiratoire et musculaire sur l'échelle de Borg (6-20) à la fin du test sur glace.

Tableau 4.11 Moyenne de perception de l'effort cardiorespiratoire et musculaire à la fin du test sur glace

Perception de l'effort cardiorespiratoire (Borg 6-20)	Perception de l'effort musculaire (Borg 6-20)
16±2,1 (n=24)	19±1,1 (n=24)

Moyenne±ÉT

À noter ici que dans le tableau précédent (Tableau 4.11), la valeur 16 équivaut à un effort entre « difficile » et « très difficile », puis la valeur 19 équivaut à un effort « très très difficile », selon l'échelle de Borg.

4.2.10 La lactatémie post-effort au test sur glace

La présente section (Tableau 4.12) présente les moyennes de concentration en lactate sanguin obtenues post-effort après le test sur glace.

Tableau 4.12 Moyennes de concentration de lactate prise aux doigts à trois reprises post-effort lors du test sur glace

Temps (min) post-effort	Lactatémie (mmol/L)
1	13,3±2,55 (n=24)
5	13,4±2,12 (n=24)
15	10,0±2,58 (n=24)

Moyenne±ÉT

4.3 Comparaison des valeurs maximales des paramètres cardiorespiratoires obtenus entre le test sur glace et celui sur ergocycle

Le tableau suivant (Tableau 4.13) présente les résultats de l'analyse par test-T pour échantillons appariés pour les valeurs maximales des participants (VO_2 max absolu et relatif, FCmax et FRmax) et celles obtenues à l'arrêt (ratio d'échange respiratoire, ventilation, volume courant, oxygénation musculaire et perception de l'effort) pour identifier les différences significatives entre le test sur glace et le test sur ergocycle.

Tableau 4.13 Comparaison des valeurs maximales des paramètres cardiorespiratoires obtenus lors du test sur glace, avec celles du test sur ergocycle.

Variabes	Glace	Ergocycle	N	p.
VO_2 max absolu (L/min)	3,60±0,69*	4,33±0,78	19	0,000
VO_2 max relatif (ml/kg/min)	53,3±7,60*	63,9±6,44	19	0,000
FC max (bpm)	193±5,98	195±7,58	24	0,097
Volume courant (L)	2,31±0,37	2,43±0,46	22	0,106
FR (resp/min)	63±8,08	63±10,11	22	0,703
Ventilation (L/min)	142,6±24,5*	153,8±35,6	22	0,028
RER (à l'arrêt)	1,26±0,7*	1,15±0,9	21	0,000
SmO ₂ J.Gauche (%)	14,4±7,98	18,0±9,72	21	0,099
SmO ₂ J.Droite (%)	9,6±7,18	12,4±9,43	19	0,053
Borg Cardio.	15,9±2,1*	17,0±2,1	24	0,005
Borg Muscul.	18,5±1,1	18,4±1,3	24	0,671

Moyenne±ÉT, *différence significative Glace vs. Ergocycle ($p < 0,05$)

4.3.1 Comparaison des valeurs maximales de consommation d'oxygène obtenues entre les deux tests

On remarque de manière plus visuelle dans la figure suivante (Figure 4.4), d'après le Tableau 4.13, qu'il y a une différence significative ($-0,73 \pm 0,50$ L/min, $p = 0,000$) en ce

qui concerne le $VO_2\text{max}$ absolu obtenu entre le test sur glace et celui sur ergocycle ($\sim 22\%$), ainsi qu'une différence significative ($-10,58 \pm 6,81$ ml/kg/min, $p=0,000$) en ce qui concerne le $VO_2\text{max}$ relatif.

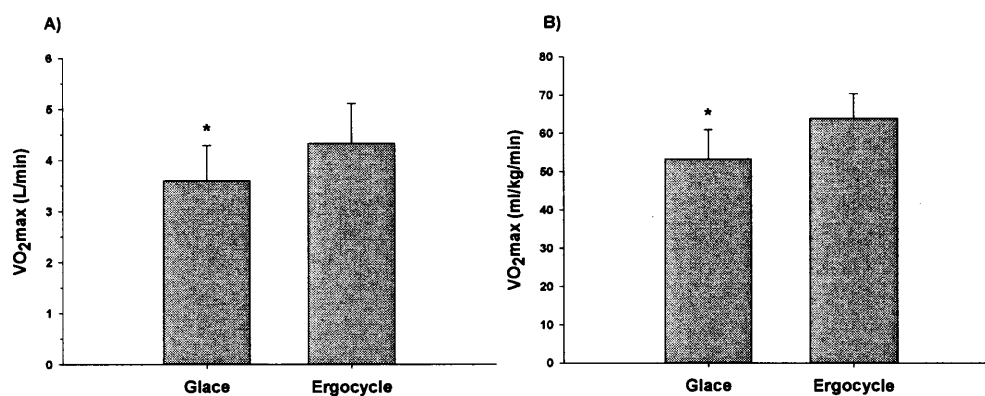


Figure 4.4 Différences entre les $VO_2\text{max}$ absolu (A) et relatif (B) atteints lors des deux tests. L'astérisque représente une différence significative ($p=0,0000$) par rapport au $VO_2\text{max}$ sur ergocycle

La figure suivante (Figure 4.5) présente quant à elle le $VO_2\text{max}$ atteint sur glace par rapport au $VO_2\text{max}$ atteint sur ergocycle. On peut observer que le $VO_2\text{max}$ atteint sur glace, pour la majorité des participants, est moins élevé que celui atteint sur ergocycle. La ligne de régression (ligne hachurée) est représentée par l'équation suivante ($r=0,77$, $p=0,0001$, $ETE=0,45$) et est significative :

$$VO_2\text{max glace (L/min)} = 0,6265 * VO_2\text{max ergocycle} - 0,6872$$

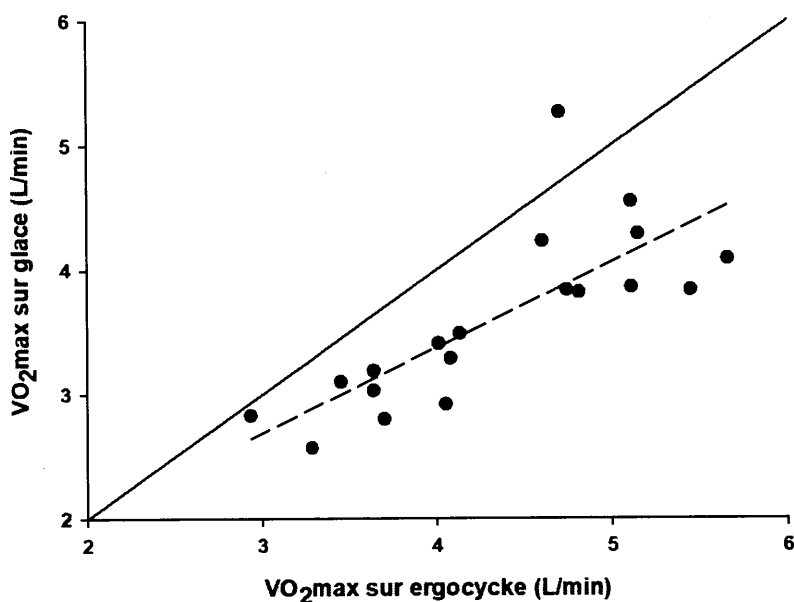


Figure 4.5 Le VO₂max absolu sur glace en fonction du VO₂max absolu sur ergocycle. (La ligne pointillée représente la droite de régression des moindres carrés. La ligne pleine représente la droite d'identité).

La figure suivante (Figure 4.6) représente quant à elle la différence entre les valeurs de VO₂max atteintes sur glace et ergocycle respectivement en relation avec le VO₂max moyen des deux mesures atteintes sur glace et sur ergocycle (Approche Bland-Altman). Le niveau d'agrément (ligne pleine) est de -0,72 et représente la différence systématique de 2,5 à 5,5 L/min entre les deux mesures. La ligne hachurée représente la ligne de régression qui n'est pas significative.

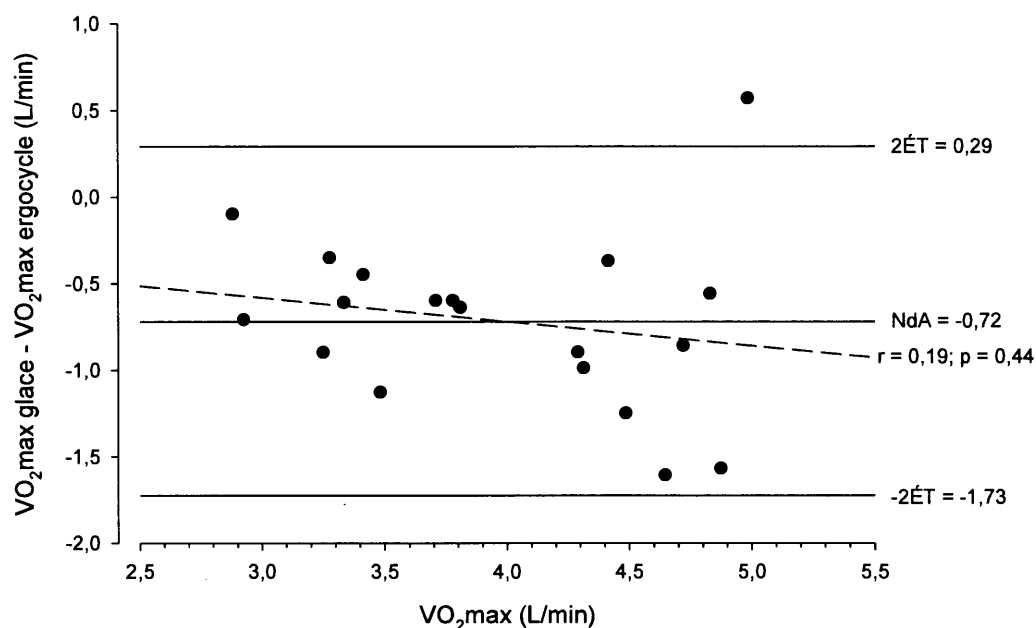


Figure 4.6 Différence entre les valeurs de $VO_2\text{max}$ atteinte sur glace et ergocycle respectivement en relation avec le $VO_2\text{max}$ moyen des deux mesures atteintes sur glace et sur ergocycle. La ligne pleine centrale représente le niveau d'agrément. La ligne hachurée représente la ligne de régression qui est non-significative.

4.3.2 Le $VO_2\text{max}$ selon le niveau compétitif de l'athlète

Avant de passer aux autres déterminants cardiorespiratoires, notons qu'il a été vérifié par Test-t d'échantillons indépendants les valeurs de $VO_2\text{max}$ obtenus selon le niveau compétitif des athlètes pour comparer l'égalité des moyennes. Ainsi, pour le $VO_2\text{max}$ absolu obtenu sur glace, il n'y a pas de différence significative entre le niveau d'équipe de développement ($3,57 \pm 0,58$ L/min, $n=16$) et le niveau provincial (juniors) ($3,52 \pm 0,92$ L/min, $n=6$) ($p=0,879$). Pour le $VO_2\text{max}$ relatif, il n'y a pas de différence significative

entre le niveau d'équipe de développement ($52,1 \pm 5,5$ ml/kg/min, $n=16$) et le niveau provincial ($55,7 \pm 10,8$ ml/kg/min, $n=6$) ($p=0,317$).

Nous avons vérifié les mêmes valeurs sur les résultats obtenus lors du test sur ergocycle. Il n'y a pas de différence significative entre le VO_2 max absolu des patineurs du niveau d'équipe de développement ($4,46 \pm 0,83$ L/min, $n=14$) et le niveau provincial ($3,85 \pm 0,54$ L/min, $n=6$) ($p=0,113$). Pour le VO_2 max relatif, il n'y a pas de différence significative entre le niveau d'équipe de développement ($64,6 \pm 6,8$ ml/kg/min, $n=16$) et le niveau provincial ($60,0 \pm 6,5$ ml/kg/min, $n=6$) ($p=0,174$).

Cela nous a donc permis de regrouper tous les athlètes ensemble pour fin d'analyse et d'équations de prédiction selon le dernier palier atteint pour une estimation de VO_2 max.

4.3.3 Comparaison des valeurs maximales des autres paramètres cardiorespiratoires obtenus entre les deux tests

D'après le Tableau 4.13, on remarque qu'une différence significative a été observée au niveau du RER ($0,1 \pm 0,8$, $p=0,000$), au niveau de la ventilation ($-11,3 \pm 22,3$ L/min, $p=0,028$) et au niveau de la perception de l'effort cardiorespiratoire ($-1,13 \pm 1,75$, $p=0,005$) sur l'échelle de Borg (sur 20), tandis qu'aucune différence significative n'a été notée au niveau de la perception de l'effort musculaire ($-0,13 \pm 1,42$, $p=0,671$). Aucune différence significative n'a également été démontrée au niveau des FCmax ($-1,92 \pm 5,42$ bpm, $p=0,097$), ni au niveau de la FRmax ($-0,59 \pm 7,18$ bpm, $p=0,703$), entre les deux tests. Il en est de même pour le volume courant ($-0,12 \pm 0,34$ L, $p=0,106$), puis pour l'oxygénation musculaire de la jambe gauche ($-3,52 \pm 9,33$ %, $p=0,099$) et droite ($-2,79 \pm 5,87$ %, $p=0,053$).

4.4 Comparaison des valeurs des paramètres cardiorespiratoires obtenus à travers les incréments des deux tests

4.4.1 La consommation d'oxygène à travers les incréments des deux tests maximaux

La figure suivante présente les moyennes de consommation d'oxygène en absolu (moyennées 10 s avant la fin de chaque palier) pour chaque palier au test sur glace (Figure 4.7A), en comparaison avec celles du test sur ergocycle (Figure 4.7B).

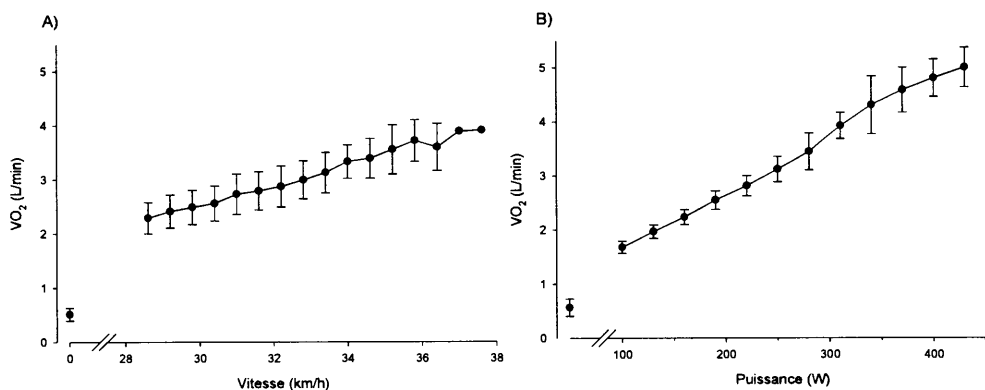


Figure 4.7 Courbes des moyennes de consommation d'oxygène (VO₂) en absolu (L/min) des participants selon la vitesse de patinage (A) et la puissance (B) (moyennées 10 s avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement.

De façon plus spécifique, on remarque que la consommation en oxygène est significativement plus élevée ($0,62 \pm 0,25$ L/min, $p=0,000$) dès le premier palier du test sur glace ($2,29 \pm 0,29$ L/min) comparativement au premier palier du test sur ergocycle

(1,68±0,12 L/min). En revanche, les valeurs maximales sont significativement plus basses (-0,73±0,5 L/min, p=0,000) au test sur glace (3,60±0,69 L/min) comparativement aux valeurs maximales du test sur ergocycle (4,33±0,78 L/min), tel qu'indiqué antérieurement (Tableau 4.13).

À l'aide des données de consommation d'O₂ obtenus par palier au test sur ergocycle (Tableau 4.3), nous avons créé l'équation de régression suivante afin de prédire la puissance (W) déployée (r=0,998, p<0,0001, ETE=7,8) :

$$\text{Puissance (W)} = 94,0684 * \text{VO}_2 \text{ (L/min)} - 51,83$$

Cette équation a été utilisée pour estimer la puissance déployée sur glace à partir du VO₂ mesuré sur glace.

4.4.2 Les fréquences cardiaques et le pouls d'oxygène atteints à travers les incréments des deux tests maximaux

La figure suivante présente les fréquences cardiaques moyennes de groupe (moyennées 10 s avant la fin de chaque palier) pour chaque palier au test sur glace (Figure 4.8A), en comparaison avec celles du test sur ergocycle (Figure 4.8B).

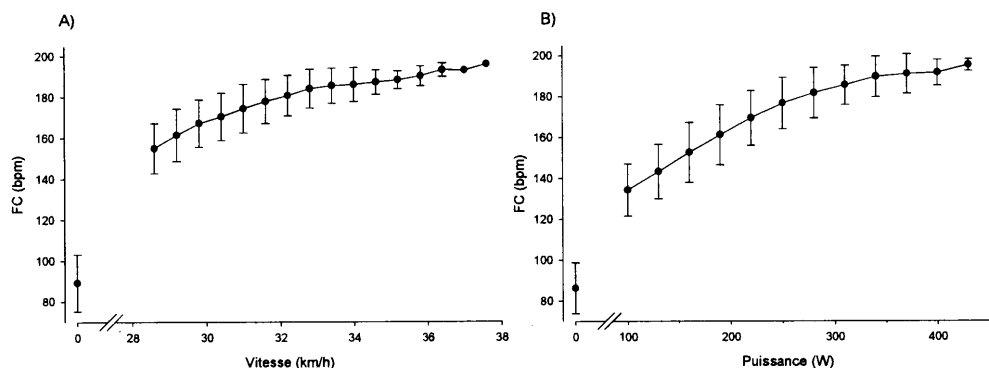


Figure 4.8 Courbes des moyennes de fréquences cardiaques (FC) des participants selon la vitesse de patinage (A) et la puissance (B) (moyennées 10s avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement.

En regardant l'évolution des moyennes, on remarque que la courbe du test sur glace semble débiter de manière différente de celle du test sur ergocycle, malgré qu'elles se terminent de façon plus semblable. Dans les faits, dès la fin du premier palier au test sur glace, la moyenne des FC des participants est significativement plus haute ($20,39 \pm 12,29$ bpm, $p=0,000$) comparativement au premier palier d'échauffement (3 min à 100 W) sur ergocycle ($155 \pm 12,42$ et $134 \pm 12,72$ bpm respectivement). Toutefois, comme nous l'avons vu dans le Tableau 4.13 précédemment, les valeurs maximales atteintes à la fin du test ne sont pas significativement différentes ($-1,9 \pm 5,42$ bpm, $p=0,097$).

Afin d'illustrer différemment la réponse respiratoire à l'effort durant les deux épreuves (glace vs ergocycle), la figure suivante (Figure 4.9) présente les moyennes de FC exprimés selon le VO_2 obtenu lors des deux tests.

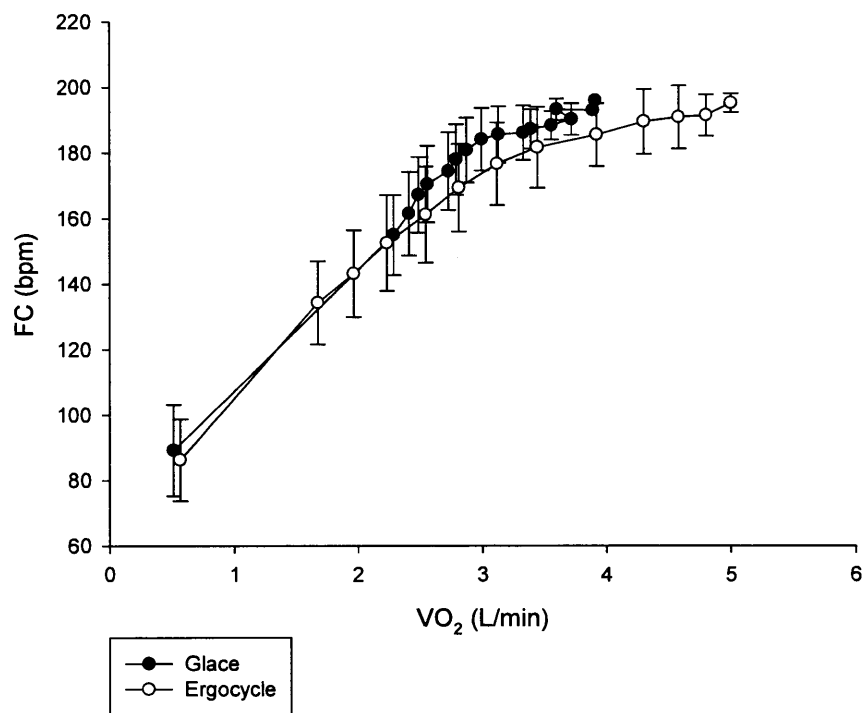


Figure 4.9 Courbes des moyennes de FC (bpm) des participants selon la consommation d'oxygène (L/min) aux tests maximaux jusqu'à épuisement

La figure suivante (Figure 4.10) a été conçue afin de présenter les courbes de pouls d'oxygène durant les deux tests. Il s'agit en fait du VO₂ exprimé en ml divisé par le FC, représentant la quantité d'oxygène consommée pour chaque battement cardiaque.

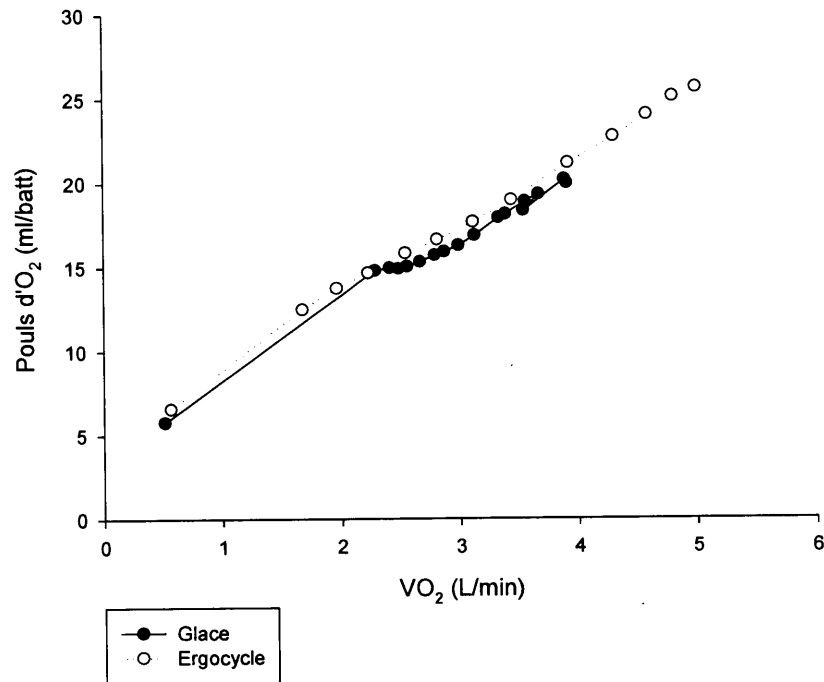


Figure 4.10 Courbes des pouls d'oxygène (ml/batt) des participants selon la consommation d'oxygène (L/min) aux tests maximaux jusqu'à épuisement

4.4.3 Le volume courant à travers les incréments des deux tests maximaux

La figure suivante présente les moyennes de volume courant (moyennées 10 s avant la fin de chaque palier) pour chaque palier au test sur glace (Figure 4.11A), en comparaison avec celles du test sur ergocycle (Figure 4.11B).

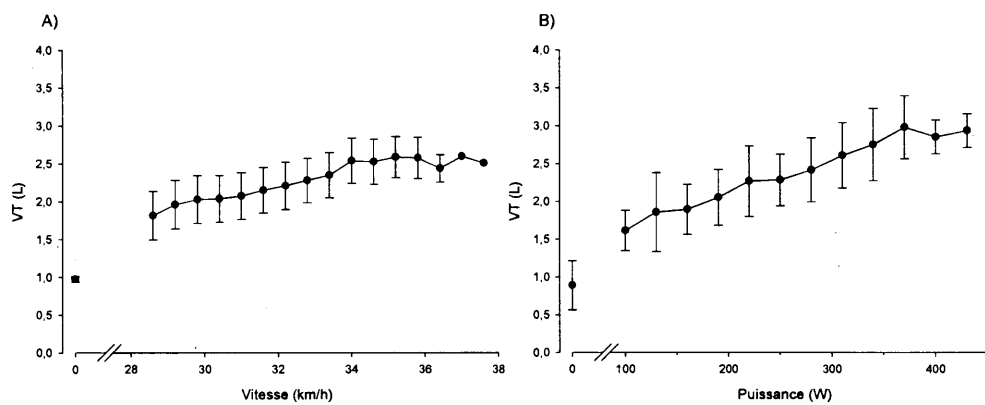


Figure 4.11 Courbes des moyennes de volume courant (L) des participants selon la vitesse de patinage et la résistance de pédalage (moyennées 10s avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement.

4.4.4 Les fréquences respiratoires atteintes à travers les incréments des deux tests maximaux

La figure suivante présente les moyennes de fréquences respiratoires (moyennées 10 s avant la fin de chaque palier) pour chaque palier au test sur glace (Figure 4.12A), en comparaison avec celles du test sur ergocycle (Figure 4.12B).

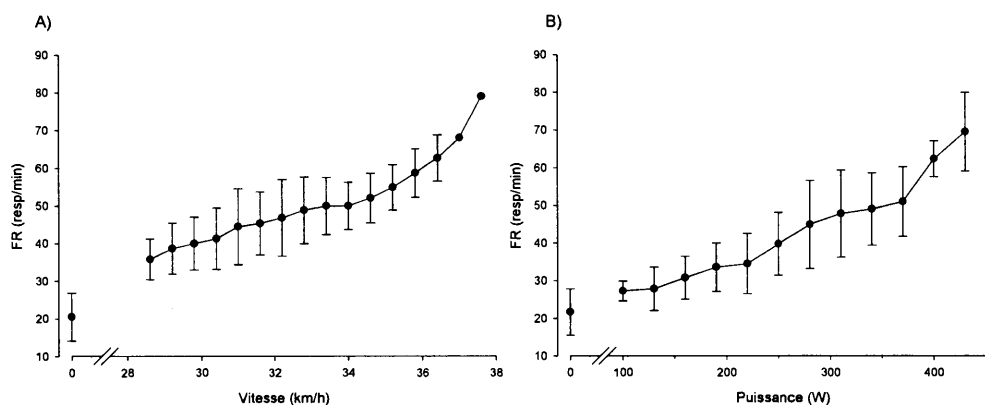


Figure 4.12 Courbes des moyennes de fréquences respiratoires (FR) des participants selon la vitesse de patinage et la résistance de pédalage (moyennées 10s avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement

4.4.5 La ventilation à travers les incréments des deux tests maximaux

La figure suivante présente les moyennes de ventilation (moyennées 10 s avant la fin de chaque palier) pour chaque palier au test sur glace (Figure 4.13A), en comparaison avec celles du test sur ergocycle (Figure 4.13B).

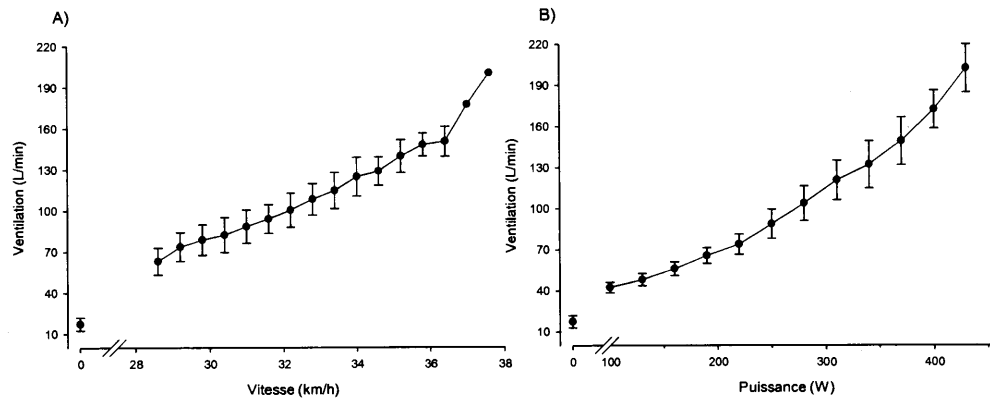


Figure 4.13 Courbes des moyennes de ventilation (L/min) des participants selon la vitesse de patinage et la résistance de pédalage (moyennées 10s avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement

Afin d'illustrer différemment la réponse ventilatoire à l'effort durant les deux épreuves (glace vs ergocycle), la figure suivante (Figure 4.14) présente les moyennes de ventilation exprimées selon le VO_2 obtenu lors des deux tests.

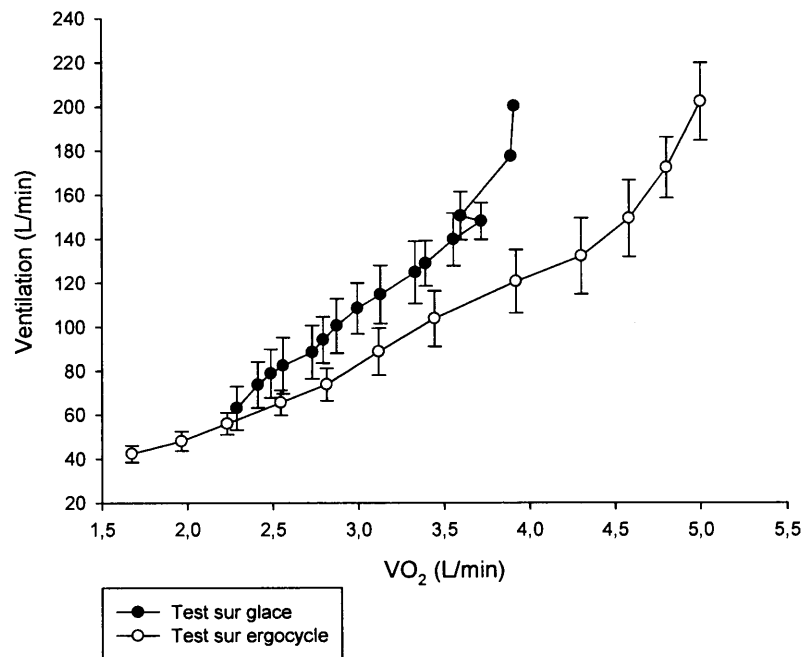


Figure 4.14 Courbes des moyennes de ventilation (L/min) des participants selon la consommation d'oxygène (L/min) aux tests maximaux jusqu'à épuisement

La figure suivante (Figure 4.15) présente les équivalents ventilatoires (V_E/VO_2 et V_E/VCO_2) pour les deux tests. Pour cette figure, les écarts-types ont été retirés pour des raisons de clarté au niveau de la lecture.

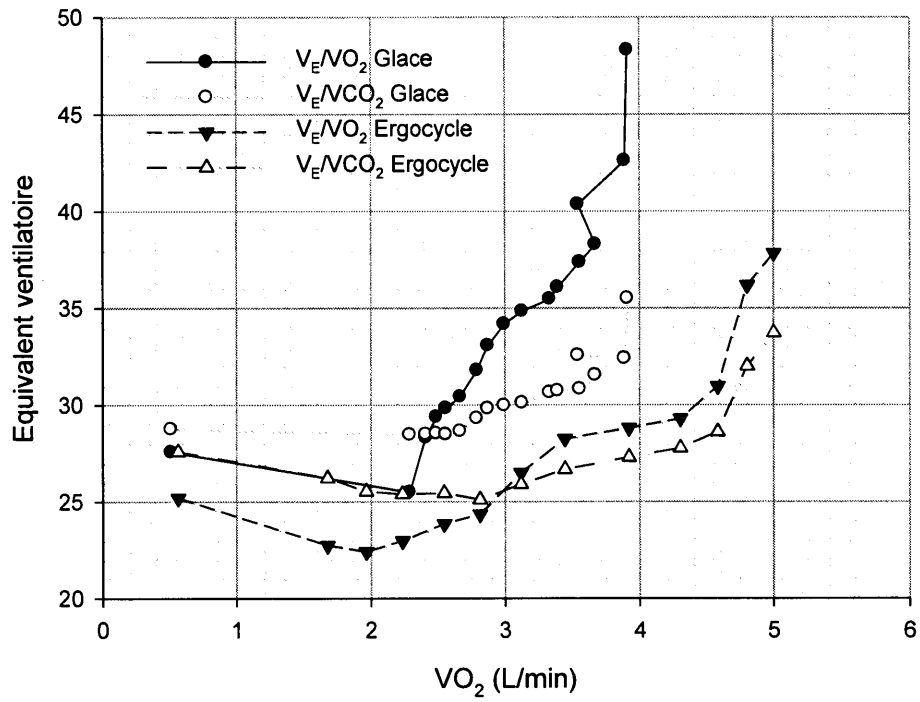


Figure 4.15 Équivalents ventilatoires mesurés pour les deux épreuves (glace et ergocycle)

4.4.6 Le ratio d'échange respiratoire (RER) atteint à travers les incréments des deux tests maximaux

La figure suivante présente les moyennes de ratio d'échange respiratoire (moyennées 10 s avant la fin de chaque palier) pour chaque palier au test sur glace (Figure 4.16A), en comparaison avec celles du test sur ergocycle (Figure 4.16B).

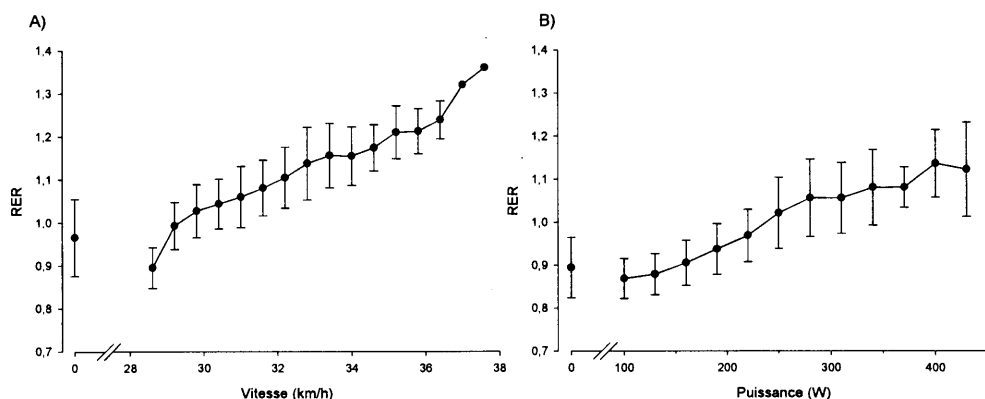


Figure 4.16 Courbes des moyennes de ratio d'échange respiratoire (RER) des participants selon la vitesse de patinage et la résistance de pédalage (moyennées 10s avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement

Afin d'illustrer différemment le RER à l'effort durant les deux épreuves (glace vs ergocycle), la figure suivante (Figure 4.17) présente les moyennes de RER exprimées selon le VO_2 obtenu lors des deux tests.

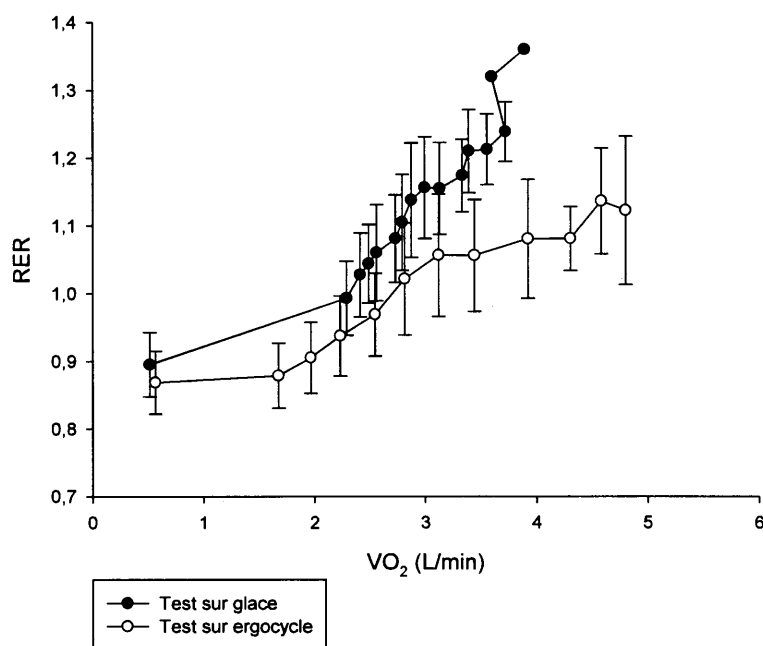


Figure 4.17 Courbes des moyennes de ratio d'échange respiratoire (RER) des participants selon la consommation d'oxygène (moyennées 10s avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement

4.4.7 L'oxygénation musculaire des membres inférieurs à travers les incréments des deux tests maximaux, ainsi que durant la récupération post-effort

La figure suivante présente les courbes des moyennes d'oxygénation musculaire des membres inférieurs (moyennées pour chaque 10 dernières secondes de fin de palier) pour chaque palier au test sur glace (Figure 4.18A), en comparaison avec celles du test sur ergocycle (Figure 4.18B), et ce pour les jambes gauches et droites.

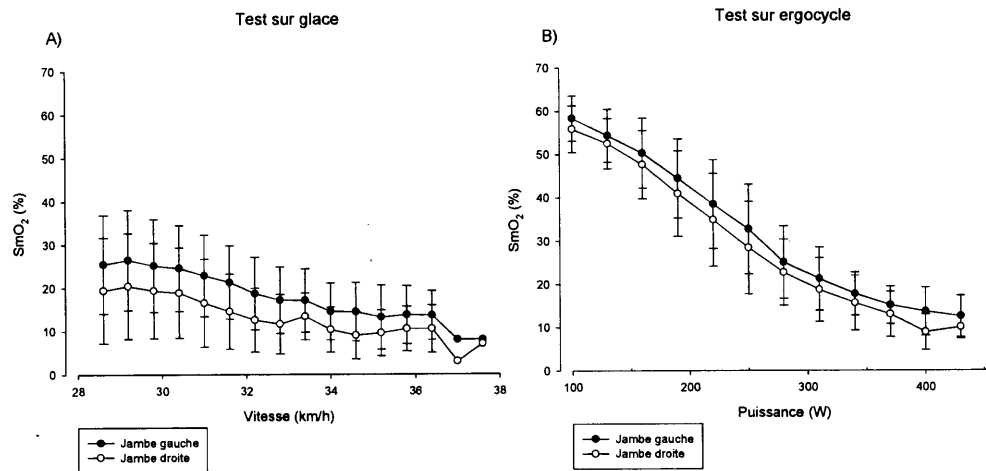


Figure 4.18 Courbes des moyennes d'oxygénation musculaire (SmO₂%) des participants selon la vitesse de patinage et la résistance de pédalage (moyennées 10s avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement, pour les jambes gauches et droites

La figure suivante présente les courbes des moyennes d'oxygénation musculaire des membres inférieurs (moyennées pour chaque 10 dernières secondes de fin de palier), toutefois ici présentée selon la consommation d'oxygène (L/min) lors du test sur glace (Figure 4.19A), en comparaison avec celles du test sur ergocycle (Figure 4.19B), et ce pour les jambes gauches et droites.

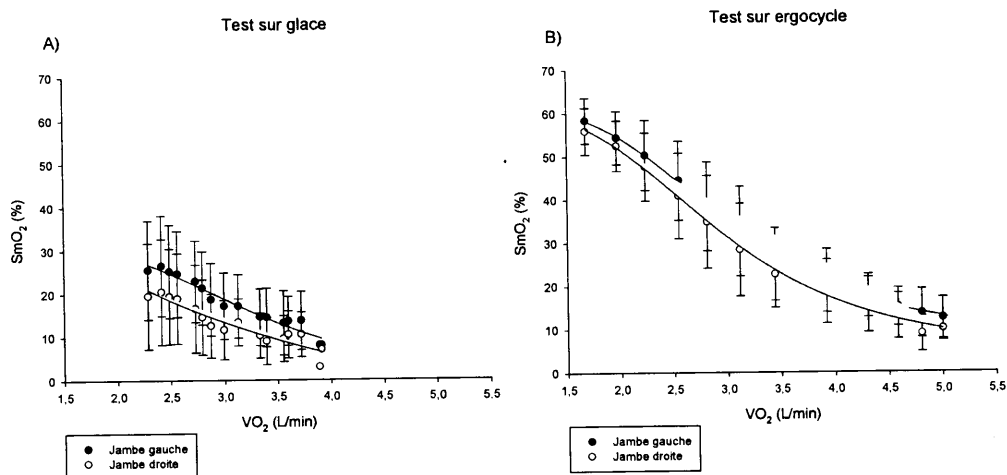


Figure 4.19 Courbes des moyennes d'oxygénation musculaire (SmO₂%) des participants selon la consommation d'oxygène (moyennées 10s avant la fin de chaque palier) aux tests maximaux jusqu'à épuisement, pour les jambes gauches et droites

La figure suivante présente les courbes des moyennes d'oxygénation musculaire des jambes gauches et droites durant la période de récupération post-effort au test sur glace (Figure 4.20A), en comparaison avec celles du test sur ergocycle (Figure 4.20B), prise chaque 30 s pour 3 min.

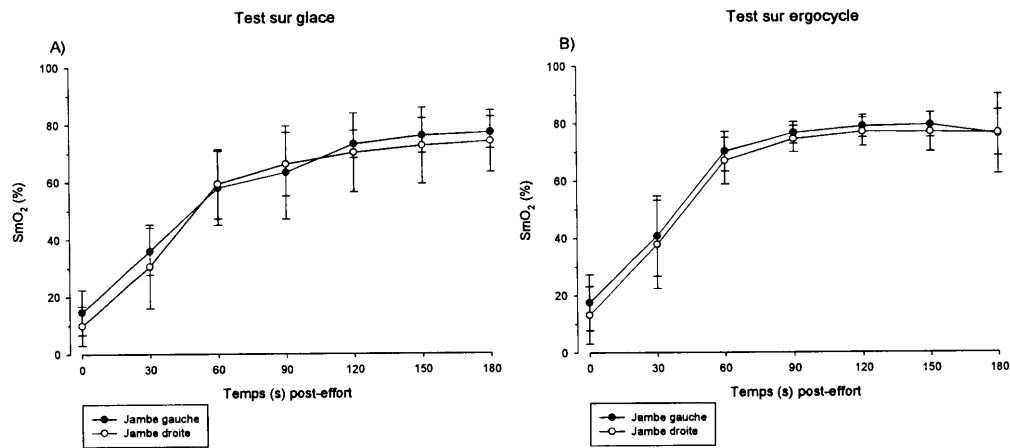


Figure 4.20 Courbe des moyennes d'oxygénation des membres inférieurs (SmO₂%) des participants lors de la récupération post-effort aux deux tests, pour les deux jambes

4.4.8 La concentration de lactate sanguin durant la récupération post-effort des deux tests maximaux

La figure suivante (Figure 4.21) présente les courbes des moyennes de concentration de lactate (mmol/L) durant la période de récupération post-effort au test sur glace en comparaison avec celles du test sur ergocycle, prise après 1, 5 et 15 min.

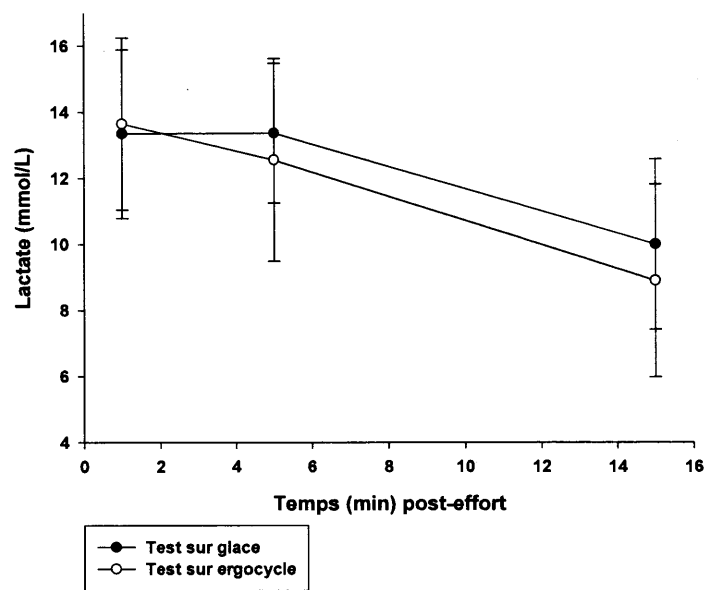


Figure 4.21 Courbe des moyennes de concentration sanguine de lactate (mmol/L) des participants lors de la récupération post-effort aux deux tests, après 1, 5 et 15 min

CHAPITRE V

DISCUSSION

L'objectif principal de cette étude était de valider un nouveau test conçu spécifiquement pour le patinage de vitesse courte piste et de comparer les valeurs des déterminants cardiorespiratoires observés durant ce test, avec ceux observés durant un test maximal sur ergocycle. Suite à la validation du test spécifique sur glace, notre but était de créer un tableau d'estimation du VO_2 max selon le dernier palier complété au test sur glace et de créer un tableau d'équivalence de charge de travail entre vitesse de patinage et puissance (en watts) à l'aide d'une équation de régression, le tout pour aider les spécialistes qui travaillent dans le milieu de la courte piste.

5.1 Comparaison des résultats obtenus entre les deux tests

5.1.1 Comparaison de la consommation d'oxygène

En jetant un coup d'œil aux courbes de la Figure 4.7, on remarque facilement que l'évolution de la consommation d'oxygène des participants se dessine de façon différente entre le test sur glace et celui sur ergocycle. Cette différence fait surface dès les premiers paliers considérés d'échauffement pour les deux tests. Dans les faits, la consommation en oxygène est significativement plus élevée ($0,62 \pm 0,25$ L/min, $p=0,000$) dès le premier palier du test sur glace ($2,29 \pm 0,29$ L/min) comparativement au premier palier du test sur ergocycle ($1,68 \pm 0,12$ L/min), ce qui signifie que pour deux intensités de travail considéré comme d'échauffement, la consommation d'oxygène est plus grande pour l'effort de patinage sur glace. À ce propos il est intéressant de

rapporter que durant la tenue des tests, au moment de la récupération à la suite du test sur glace, nombreux sont les patineurs nous ayant mentionné avoir trouvé que la vitesse d'échauffement établie à 14 s/tour (28,6 km/h) était selon eux trop lente et qu'il leur était difficile d'exécuter leur patron de patinage aisément. Plus précisément, certains athlètes et entraîneurs nous ont même confié croire que, pour le niveau senior surtout, la possibilité de débiter le test à une vitesse un peu plus élevée (par exemple à 13 s/tour) serait plus appropriée comme échauffement et permettrait aux athlètes de ne pas avoir à changer leur patron de patinage afin de suivre le rythme. Ainsi, comment se fait-il que la moyenne de consommation d'oxygène du premier palier sur glace soit significativement plus élevée que pour le premier palier sur ergocycle, mais que subjectivement, les patineurs nous mentionnassent trouver la vitesse d'échauffement sur glace trop lente? L'effort ne devrait-il pas être moindre?... Nous reviendrons sur ce questionnement plus tard.

En revanche, les valeurs de consommation d'oxygène maximales atteintes en fin de tests sont significativement plus basses ($-0,73 \pm 0,5$ L/min, $p=0,000$) au test sur glace comparativement à celles atteintes au test sur ergocycle. Alors que Kandou et ses collègues (1987) estimaient une différence de 5 à 10 % de VO_2 max entre un effort sur glace vs sur ergocycle, on observe de notre côté une différence autour de 22 %. On remarque également dans nos résultats (Figure 4.7) des écarts-types moins grands dans la courbe du test sur ergocycle en comparaison au test sur glace, suggérant que la consommation d'oxygène sur ergocycle serait plus homogène entre les participants à travers les paliers.

Comme nous avons vu précédemment dans la revue de littérature, les normes de VO_2 max des patineurs de vitesse courte piste sur glace semblaient varier entre 50 et 65 ml/kg/min selon leur niveau (Doutreleau, 2011). Sachant que les participants de notre étude se situent pour la plupart de niveau provincial à équipe de développement (plus un sur l'équipe nationale), on voit qu'ils se sont situés en plein dans cet écart avec des

résultats variant entre $53,3 \pm 7,60$ ml/kg/min (résultats obtenus au test sur glace) et $63,9 \pm 6,44$ ml/kg/min (pour le test sur ergocycle). Ainsi comme dans notre revue de littérature, nos résultats vont dans la même direction que cette étude où il avait été rapporté des valeurs de VO_2 max différentes selon l'exercice qui était exécuté, soit de 53.9 ml/kg/min chez les patineurs lorsqu'ils patinaient, comparativement à 57.2 ml/kg/min (plus élevé) lorsqu'ils faisaient une épreuve sur vélo (Kandou *et al.*, 1987). *Idem* pour Rundell et ses collègues (1996) qui avait obtenu des valeurs de VO_2 max de 57 ml/kg/min en position basse de patinage, 62 ml/kg/min en patinant de manière plus redressée, puis 64 ml/kg/min en épreuve de course à pied.

Comme mentionné précédemment dans la section résultats, cette différence significative que nous avons obtenue entre les moyennes de VO_2 max relatif nous démontre de manière plutôt convaincante qu'on ne peut se fier seulement qu'aux résultats d'évaluation sur ergocycle dans le milieu du courte piste, puisqu'ils ne représentent pas les valeurs maximales spécifiques au sport des patineurs.

5.1.2 Comparaison des fréquences cardiaques

En jetant un coup d'œil aux courbes de la Figure 4.8, on remarque que l'évolution des FC des participants se dessine de façon différente entre le test sur glace et celui sur ergocycle. Dans les faits, la moyenne des FC des participants est significativement plus haute ($20,39 \pm 12,29$ bpm, $p=0,000$) au premier palier sur glace comparativement au premier palier sur ergocycle ($155 \pm 12,42$ et $134 \pm 12,72$ bpm respectivement), bien que les deux intensités soient considérées d'échauffement. Ceci suggère qu'il soit beaucoup plus difficile de travailler à une intensité considérée comme étant basse lors d'un effort sur glace pour un patineur courte piste. En regardant la Figure 4.9, il nous est possible d'ajouter que la relation entre les FC et le VO_2 n'est pas linéaire.

En ce qui a trait aux valeurs maximales atteintes, on remarque au Tableau 4.13 (et dans la Figure 4.9) qu'aucune différence significative n'avait été notée au niveau des FCmax entre le test sur glace et celui sur ergocycle. Ainsi, si les athlètes arrivent à atteindre des FCmax semblables aux deux tests maximaux avec des VO₂max qui sont significativement différents, il doit forcément y avoir un élément autre qui vient compromettre le système cardiorespiratoire. En effet, cela apparaît lorsque le pouls d'oxygène est comparé entre les deux conditions (glace vs ergocycle). On arrive à voir avec la Figure 4.10 que le pouls d'O₂ augmente de manière linéaire et similaire durant l'effort dans les deux tests. Toutefois lors d'effort de patinage sur glace, le pouls d'O₂ final reste bien inférieur à celui atteint à la fin du test de pédalage sur ergocycle, suggérant que l'apport en oxygène est limité au niveau des muscles actifs durant un effort de patinage de vitesse courte piste sur glace, possiblement à cause d'un blocage au niveau de l'artère fémorale causée par la position très accroupie.

5.1.3 Comparaison du volume courant

En jetant un coup d'œil aux courbes de la Figure 4.11, on remarque qu'il y a moins de différence au niveau de l'évolution du V_T des participants entre les deux tests dans l'ensemble. Dans les faits, il n'y a pas de différence significative ($0,16 \pm 0,25$ L, $p=0,006$) entre la moyenne des V_T des participants au premier palier sur glace comparativement au premier palier sur ergocycle ($1,78 \pm 0,29$ et $1,62 \pm 0,27$ L respectivement).

En ce qui a trait aux valeurs maximales atteintes, on remarque également à la Figure 4.9 qu'aucune différence significative n'avait été notée au niveau des V_T à l'arrêt entre le test sur glace et celui sur ergocycle.

5.1.4 Comparaison des fréquences respiratoires

En jetant un coup d'œil aux courbes de la Figure 4.12, on remarque que l'évolution de la fréquence respiratoire des participants se dessine de façon différente entre le test sur glace et celui sur ergocycle. Dans les faits, la moyenne des FR des participants est significativement plus haute ($8,78 \pm 4,56$ resp/min, $p=0,000$) au premier palier sur glace comparativement au premier palier sur ergocycle ($36 \pm 5,30$ et $27 \pm 2,63$ resp/min respectivement), bien que les deux intensités soient considérées d'échauffement.

En ce qui a trait aux valeurs maximales atteintes, on remarque au Tableau 4.13 qu'aucune différence significative n'avait été notée au niveau des FR à l'arrêt le test sur glace et celui sur ergocycle. Ainsi au niveau des FR, on obtient un patron semblable aux résultats vus avec les FC.

5.1.5 Comparaison de la ventilation

En jetant un coup d'œil aux courbes de la Figure 4.13, on remarque que l'évolution de la ventilation des participants se dessine de façon différente entre le test sur glace et celui sur ergocycle. Dans les faits, la moyenne de ventilation des participants est significativement plus haute ($20,27 \pm 9,12$ L/min, $p=0,000$) au premier palier sur glace comparativement au premier palier sur ergocycle ($62,66 \pm 9,87$ et $42,39 \pm 3,91$ L/min respectivement), bien que les deux intensités soient considérées d'échauffement. On remarque également des écarts-types moins grands dans le début de la courbe du test sur ergocycle (Figure 4.13B), suggérant que la consommation d'oxygène serait plus homogène entre les participants à travers les premiers paliers du test sur ergocycle. Si

on examine de près les courbes de la Figure 4.14 où la ventilation est exprimée en relation à la consommation d'oxygène, on remarque de manière évidente que pour une même consommation d'oxygène, l'effort sur glace provoque une ventilation plus élevée et qu'à même VO_2 max la ventilation est similaire. Donc, de manière sous-maximale, la ventilation semble beaucoup plus sollicitée et pourrait être indicative d'un déficit métabolique de nature aérobie. Cela est en lien direct avec l'oxygénation musculaire qui est beaucoup moindre, lorsque comparée à la même valeur de VO_2 sur ergocycle. Les expériences ici n'étaient pas conçues pour identifier quelles filières métaboliques étaient davantage sollicitées durant le patinage, mais il est permis de songer qu'à VO_2 égal (sous-maximal) lors du patinage, la filière métabolique anaérobie contribuait beaucoup plus à l'effort que lors du pédalage sur ergocycle.

Pour ce qui est de la Figure 4.15, on observe au niveau des équivalents ventilatoires que les courbes VE/VO_2 et VE/VCO_2 ne se croisent pas au même endroit par rapport à la consommation d'oxygène, entre le test sur glace et le test sur ergocycle. Dans les faits, ce croisement des deux courbes, qu'on peut associer au SV1, se produit beaucoup plus tôt dans le test sur glace et à plus basse consommation d'oxygène (à environ 2,4 L/min) comparativement au test sur ergocycle (à environ 3,0 L/min). Néanmoins, de façon relative au VO_2 max et respectivement aux épreuves, le SV1 semble atteint à 50% dans les deux cas.

En ce qui a trait aux valeurs maximales atteintes, on remarque au Tableau 4.13 une différence significative au niveau de la ventilation à l'arrêt au test sur glace, comparativement au test sur ergocycle. On se rappelle dans la littérature que Kandou et ses collègues (1987) avaient également observé une ventilation maximale plus basse à l'effort sur glace comparativement à l'effort sur ergocycle chez les patineurs de son étude.

5.1.6 Comparaison du ratio d'échange respiratoire

En jetant un coup d'œil aux courbes de la Figure 4.16, on remarque que l'évolution du RER des participants se dessine de façon différente entre le test sur glace et celui sur ergocycle, mais également selon un patron différents des paramètres vus précédemment. Dans les faits, il n'y a pas de différence significative ($0,03 \pm 0,07$, $p=0,120$) au niveau de la moyenne de RER des participants au premier palier sur glace comparativement au premier palier sur ergocycle ($0,89 \pm 0,05$ et $0,87 \pm 0,05$ respectivement). Toutefois, on remarque dans la figure que la courbe du côté du test sur glace tend à augmenter beaucoup plus rapidement que celle du test sur ergocycle. Concrètement, dès la fin du 3^e palier au test sur glace, la moyenne de RER dépasserait les valeurs de 1,0 et ce jusqu'à la fin du test. Dans le cas du test sur ergocycle, la moyenne ne dépasse la barre du 1,0 de RER qu'en finissant le 6^e palier. Il est intéressant ici de noter que la vitesse de patinage de 29,8 km/h au 3^e palier (représentant 13,4 s/tour) reste une vitesse d'échauffement, puisqu'on se trouve encore en dessous de 13,0 s/tour et qu'on totalise seulement 2,06 min d'effort depuis le début du test. De l'autre côté, le 6^e palier représentant 250 W de résistance n'est plus considéré comme faisant partie de l'échauffement au test sur ergocycle, puisqu'à ce niveau on se trouve déjà à 8 min d'effort complété. Si on se fie à ces chiffres, cela voudrait dire que l'effort général en patinage de vitesse courte piste serait de grande part de type anaérobie, dû au fait qu'on retrouve rapidement des valeurs de RER au-dessus de 1,0 malgré des vitesses d'échauffement. La Figure 4.17 montre justement les résultats de RER aux deux tests en relation cette fois avec le VO_2 (L/min). Cette figure nous permet facilement de voir qu'à même consommation d'oxygène, l'effort de patinage sur glace résulte d'un RER plus élevé comparativement à un effort sur ergocycle. Dans notre revue de littérature en lien avec notre hypothèse, on se souvient que Hesford et ses collègues (2013) croyaient justement que la réduction du flot sanguin vers les muscles du bas du corps affectait la capacité aérobie et que ceci pourrait expliquer pourquoi la filière anaérobie

est tant sollicitée dans cette discipline et qui pourrait aussi expliquer que le RER à même VO_2 est beaucoup plus élevé sur glace.

En ce qui a trait aux valeurs maximales atteintes, on remarque à l'aide du Tableau 4.13 une différence significative au niveau des RER à l'arrêt entre le test sur glace et celui sur ergocycle ($1,26 \pm 0,7$ et $1,15 \pm 0,9$ respectivement). Fait intéressant ici, Kandou et ses collègues (1987) avait également observé une différence entre les patineurs évalués sur glace et sur vélo lors de son étude (1,03 et 1,18 respectivement), toutefois dans leur cas, c'est lors du test sur vélo que le RER était plus élevé. Possiblement que leurs athlètes avaient réussi à déployer des efforts plus élevés sur vélo puisqu'il s'agissait d'efforts « *all-out* », alors que dans notre cas, les patineurs avaient des cadences et vitesses à respecter afin de suivre le protocole des deux tests, ce qui leur aurait possiblement permis de pousser plus loin au test sur glace.

Notons que les valeurs de ratio d'échange respiratoire maximales atteintes lors du test sur glace satisfont les critères d'atteintes du VO_{2max} , critère qui selon la littérature est établi à $\geq 1,15$ (Duncan *et al.*, 1997; Issekutz *et al.*, 1962).

5.1.7 Comparaison de l'oxygénation musculaire

Les résultats obtenus au niveau de l'oxygénation des muscles des membres inférieurs sont très intéressants. En jetant un coup d'œil aux courbes de la Figure 4.18, on remarque facilement que l'évolution de l'oxymétrie se dessine de façon différente sur plusieurs points, notamment au niveau de l'échauffement, au niveau des valeurs maximales atteintes en fin de test, au niveau de la période de récupération, mais également entre la jambe gauche et droite pour les deux tests. Nous notons d'abord une différence significative ($-32,25 \pm 11,87 \%$, $p=0,000$) entre la moyenne de l'oxymétrie de

la jambe gauche des participants au premier palier sur glace comparativement au premier palier sur ergocycle ($26,45 \pm 11,43$ et $58,7 \pm 5,08$ % respectivement), ainsi qu'une différence significative ($-37,67 \pm 10,71$ %, $p=0,000$) entre la moyenne de l'oxymétrie de la jambe droite des participants au premier palier sur glace comparativement au premier palier sur ergocycle ($19,22 \pm 12,4$ et $56,89 \pm 5,11$ % respectivement). Donc, on résume le tout pour dire que l'oxymétrie des membres inférieurs est plus basse à l'échauffement du test sur glace versus celui sur ergocycle, mais aussi qu'il y a une plus grande différence entre la jambe gauche et la jambe droite lors de l'échauffement sur glace versus celui sur ergocycle. Concrètement, on observe une différence significative de $6 \pm 6,58$ %, ($p=0,001$) entre l'oxymétrie de la jambe gauche et celle de la jambe droite pour le premier palier du test sur glace ($25,45 \pm 11,98$ et $19,45 \pm 12,23$ % respectivement), et une différence significative ($2,55 \pm 3,79$ %, $p=0,007$) entre l'oxymétrie de la jambe gauche et celle de la jambe droite pour le premier palier du test sur ergocycle ($58,45 \pm 5,34$ et $55,9 \pm 5,54$ % respectivement). Ceci laisse tout de même sous-entendre que même à un stade d'échauffement, le patron mécanique du patinage en courte piste reflète une plus grande différence entre l'exécution du mouvement de la jambe gauche et celle de la jambe droite. Si on compare les courbes de la Figure 4.19 où l'oxymétrie musculaire est exprimée en relation à la consommation d'oxygène, on remarque qu'à VO_2 similaire (glace vs ergocycle) la teneur en oxygène est beaucoup moindre durant le patinage que le pédalage. Ceci est sans doute une bonne indication d'une lacune circulatoire causée par une flexion prononcée au niveau de la hanche qui limiterait possiblement de manière significative la circulation sanguine au niveau de l'artère fémorale.

En ce qui a trait aux valeurs maximales atteintes, nous notons d'abord à l'aide du Tableau 4.13 qu'il n'y a pas de différence significative entre la moyenne de l'oxymétrie de la jambe gauche des participants à l'arrêt sur glace comparativement à l'arrêt au test sur ergocycle, ni entre la moyenne de l'oxymétrie de la jambe droite des participants à l'arrêt du test sur glace comparativement à l'arrêt du test sur ergocycle. Donc, on

résume le tout pour dire que l'oxymétrie des membres inférieurs est semblable à l'arrêt des deux tests, ce qui peut vouloir dire que les participants arrêtent vraisemblablement l'effort au même niveau de désoxygénation musculaire indépendamment du type de test exécuté. Nous verrons dans la section suivante ce qu'en dit la perception de l'effort musculaire pour voir si le tout concorde.

Avant de passer à autre chose toutefois, notons qu'il y avait différence significative entre l'oxymétrie de la jambe gauche et celle de la jambe droite lors de l'arrêt au test sur glace, suggérant un travail différent entre les deux jambes dans le mouvement de patinage. Hesford et coll. (2012) avait observé le même patron avec ses patineurs courte piste, avec en moyenne une plus grande désoxygénation de la jambe gauche. Une différence significative a également été observée de notre côté entre l'oxymétrie de la jambe gauche et celle de la jambe droite lors de l'arrêt au test sur ergocycle, ce qui pourrait suggérer qu'un certain patron d'utilisation inégale des deux jambes pourrait se reporter même lors d'effort sur ergocycle. Serait-ce que les patineurs continuent de travailler inégalement en termes de force des deux jambes sur le vélo sans même le savoir à cause des adaptations physiologiques chroniques développées ainsi par le patinage? Malheureusement, pour pouvoir répondre à cette question, il nous aurait fallu avoir accès à un ergocycle permettant de mesurer la force déployée sur les deux pédales respectivement pour exécuter nos tests sur vélo.

Du côté de la récupération post-effort, on peut voir au niveau des courbes de la Figure 4.20 que pour les deux tests, la réoxygénation musculaire des membres inférieurs se fait très rapidement dès l'arrêt de l'effort, et cette augmentation rapide est surtout marquée durant les 60 premières secondes post-effort. Plus précisément, on remarque qu'après 30 s de récupération pour les deux tests, la moyenne de pourcentage d'oxygénation des deux jambes a pu augmenter jusqu'à 20 % par rapport à la valeur au moment de l'arrêt de l'effort. Après 60 s post-effort au test sur glace, les deux jambes avaient atteint plus de 40 % de SmO_2 par rapport à la valeur au moment de l'arrêt de

l'effort, tandis qu'après 60 s post-effort au test sur ergocycle, les deux jambes atteignaient 50 % de SmO_2 par rapport à la valeur au moment de l'arrêt. Après 60 s de récupération passées, l'oxygénation des deux jambes continue d'augmenter à la suite du test sur glace, mais dans des proportions moins grandes. On y note qu'après 3 min de récupération, le pourcentage d'oxygénation aurait donc réussi à se rendre à 62,5 % au niveau de la jambe gauche et à 64,17 % pour la jambe droite par rapport à la valeur au niveau de l'arrêt du patinage. On réalise maintenant qu'il aurait été intéressant de continuer la prise de données pour une période un peu plus longue post-effort, puisqu'on remarque que la courbe de réoxygénation musculaire est encore montante après 3 min. Pour ce qui est du reste de la récupération au test sur ergocycle, nous observons également une petite remontée de la courbe après 60 s de récupération pour les deux jambes, toutefois passé 2 min, les valeurs tendent à se stabiliser davantage, voir même à redescendre.

5.1.8 Comparaison de la perception de l'effort

En jetant un coup d'œil au Tableau 4.13, on remarque des différences au niveau de la perception de l'effort des participants entre le test sur glace et celui sur ergocycle. N'oublions pas que nous leur avons posé deux questions à l'arrêt des tests, soit leur perception de l'effort cardiovasculaire, ainsi que leur perception de l'effort musculaire, le tout qualifiable à l'aide de l'échelle de Borg (6-20) dans le but de déterminer la réelle raison de l'arrêt au test. On note d'abord que la moyenne de résultats des participants au niveau de la perception de l'effort cardiorespiratoire est significativement plus basse à la suite du test sur glace comparativement au test sur ergocycle. Toutefois au niveau de la perception de l'effort musculaire, il n'y a pas de différence significative à la suite des deux tests. La demande musculaire a été considérée de près de « très très difficile » (selon l'échelle) pour la plupart des participants, et ce pour les deux tests. On

comprend d'après ces résultats que les athlètes ont cessé l'effort sur glace majoritairement par inconfort musculaire, alors que l'effort cardiovasculaire n'était pas encore assez élevé pour en être la cause principale. Suite à ce constat, on peut se demander si les athlètes ont dû cesser l'effort avant d'atteindre leur véritable VO_2max . Toutefois, il n'en reste pas moins que l'effort reproduit reflète ce que le patineur exécuterait lors d'une course de 3000 ou 5000 m, donc un effort spécifique à son sport. Tout compte fait, les résultats concordent avec ceux de l'oxymétrie des membres inférieurs à l'arrêt vus précédemment.

La différence se trouve ici, alors que la perception de l'effort cardiovasculaire a été perçue de manière moins élevée au test sur glace, comparativement au test sur ergocycle. Cela pourrait concorder avec nos résultats obtenus au niveau du VO_2max des participants qui était également significativement plus bas au test sur glace, comparativement au test sur ergocycle. Ainsi, pourrait-on admettre que la position particulière adoptée en patinage courte piste causerait bel et bien une incapacité à aller chercher des valeurs aussi élevées au niveau de la consommation d'oxygène, résultant d'un effort plus musculaire et anaérobie qu'aérobie? Cela correspondrait également avec les propos d'autres auteurs vus dans notre revue de littérature (Hesford, Catherine M *et al.*, 2013) croyant qu'une réduction du flot sanguin vers les jambes affecterait la capacité aérobie.

5.1.9 Comparaison des concentrations de lactate post-effort

En jetant un coup d'œil aux courbes de la Figure 4.21, on remarque que l'évolution des concentrations de lactate sanguin se dessine de façon différente au niveau de la récupération post-effort. Rappelons que 3 prises de lactatémie ont été exécutées après l'effort aux deux tests, soit après 1 min, 5 min et 15 min. Nous ne notons d'abord

aucune différence significative entre la moyenne de lactatémie après 1 et 5 min post-effort au test sur glace comparativement au test sur ergocycle. Il est possible toutefois d'apercevoir dans la courbe post-effort sur glace que la lactatémie tend à monter légèrement entre la première et la cinquième minute, ce qui peut vouloir dire que l'effort qui a été donné lors du test était considérablement intense puisque le taux de lactate n'a toujours pas été en mesure de descendre après tout ce temps. Pour ce qui est de la courbe post-effort sur ergocycle, elle n'a descendu que légèrement. Finalement, toujours aucune différence significative entre la moyenne de lactatémie après 15 min post-effort au test sur glace comparativement au test sur ergocycle.

Il est intéressant de noter une fois de plus ici, que les valeurs de lactatémie atteintes après 5 min post-effort (ainsi qu'après 15 min post-effort) au test sur glace rencontre les critères d'atteintes du VO_2max , critère qui selon la littérature est établi à ≥ 8 mmol/L après 5 min post-effort (Duncan *et al.*, 1997; Gore et Fuller, 2013; Howley *et al.*, 1995),

5.2 Validation du test sur glace

5.2.1 Atteinte des valeurs maximales

Le test maximal sur glace permet aux athlètes de pouvoir établir leur intensité de travail maximal en retenant le dernier palier qui aura pu être complété au bon rythme. Cette vitesse de patinage en lien avec le dernier palier complété représentera alors leur vitesse maximale sur glace. Il nous est possible de confirmer que le protocole du test sur glace amène les athlètes à leur capacité maximale spécifique, avec l'appui des critères de RER et de lactatémie rencontrés et de ventilation pulmonaire élevée comme nous avons vu précédemment.

5.2.2 La durée du test

Dans l'ensemble des tests sur glace passés avec nos 24 participants, on note que la durée la plus courte a été de 3,36 min pour un des participants qui s'est arrêté 5^e palier, puis la plus longue a été de 9,75 min pour le participant s'étant rendu au 16^e palier. Si on se fie à la fenêtre optimale de test maximal à l'effort entre 8 à 12 min que nous avons trouvée dans la littérature (Buchfuhrer *et al.*, 1983), on comprend que le temps de 3,36 min est bien en deçà de cette zone. En effet, il s'agissait ici d'un temps effectué par un des athlètes de la tranche d'âge le plus jeune prenant part à l'étude. À titre indicatif, si on prenait les résultats des athlètes de niveau équipe de développement seulement, notre plus courte durée de test serait alors de 5,83 min pour un arrêt au 9^e palier. Bien qu'on se trouve en dessous du 8 min suggéré par plusieurs auteurs (Buchfuhrer *et al.*, 1983; Yoon *et al.*, 2007) en termes de durée de test, on considère que cela ne constitue pas un ennui majeur à notre méthodologie. Dans les faits, comme les plus longues épreuves individuelles (3000 m) en courte piste durent dans les alentours de 5 min, on se trouve exactement entre les temps réels de course. Il faut aussi garder en tête que l'élite (équipe nationale) reste encore à étudier. Cela dit, ceux qui représentent notre pays dans les coupes du monde, championnats mondiaux et olympiques, risqueraient fort bien de dépasser le 16^e palier au test sur glace, et ainsi augmenter la fenêtre de temps du test. De plus, si le test débutait à une vitesse plus élevée, par exemple 13,0 s/tour, comme soulevé par les patineurs et les entraîneurs, possiblement que les patineurs pourraient atteindre des paliers finaux au-delà du 16^e, comme nous avons obtenu ici.

5.2.3 Tableau d'estimation du VO₂max sur glace

Avec l'équation de prédiction de la consommation maximale d'oxygène révélée plus tôt dans le texte, il a été possible de créer un tableau d'estimation du VO₂max, que les athlètes en courte piste pourront utiliser avec le test sur glace. Ainsi, selon le dernier palier complété à l'aide de la bande sonore, l'athlète pourra estimer sa consommation maximale d'oxygène en absolu (L/min) et a la possibilité de diviser ce résultat par son poids (en kg) afin d'obtenir une valeur de VO₂ relative au poids ou de prendre simplement le résultat de l'estimation déjà calculée en relatif. Voici donc le tableau (Tableau 5.1) d'estimation du VO₂max en absolu et en relatif créé grâce à l'équation vue dans la section 4.2.2 Équation pour l'estimation du VO₂max selon le dernier palier complété lors de la passation du test sur glace ($VO_2 \text{ (L/min)} = 0,1835 * V \text{ (km/h)} - 2,9815$) selon les valeurs de coefficients respectifs.

Tableau 5.1 Tableau d'estimation du VO₂max en absolu (L/min) et en relatif (ml/kg/min) selon le dernier palier complété au test sur glace.

Dernier palier complété (N°)	Vitesse (km/h)	Temps au tour (s/tour)	Moyenne de VO ₂ max absolu ¹ (L/min)	Moyenne de VO ₂ max relatif ² (ml/kg/min)
1	28,6	14,00	2,27	34,3
2	29,2	13,70	2,38	35,7
3	29,8	13,40	2,49	37,1
4	30,4	13,20	2,60	38,5
5	31,0	12,90	2,71	39,9
6	31,6	12,70	2,82	41,3
7	32,2	12,40	2,93	42,7
8	32,8	12,20	3,04	44,1
9	33,4	12,00	3,15	45,5
10	34,0	11,80	3,26	46,9
11	34,6	11,60	3,37	48,2
12	35,2	11,40	3,48	49,6
13	35,8	11,20	3,59	51,0
14	36,4	11,00	3,70	52,4
15	37,0	10,80	3,81	53,8
16	37,6	10,60	3,92	55,2
17	38,2	10,50	4,03	56,6
18	38,8	10,30	4,14	58,0
19	39,4	10,20	4,25	59,4
20	40,0	10,00	4,36	60,8
21	40,6	9,90	4,47	62,2
22	41,2	9,70	4,58	63,6
23	41,8	9,60	4,69	65,0
24	42,4	9,40	4,80	66,4
25	43,0	9,30	4,91	67,8
26	43,6	9,20	5,02	69,2
27	44,2	9,10	5,13	70,6
28	44,8	8,90	5,24	71,9
29	45,4	8,80	5,35	73,3
30	46,0	8,70	5,46	74,7
31	46,6	8,60	5,57	76,1
32	47,2	8,50	5,68	77,5
33	47,8	8,40	5,79	78,9
34	48,4	8,30	5,90	80,3
35	49,0	8,20	6,01	81,7
36	49,6	8,10	6,12	83,1
37	50,2	8,00	6,23	84,5

Moyenne; 1, VO₂ (L/min) = 0,1835 * V (km/h) - 2,9815; ETE=0,3463; 2, VO₂ (ml/kg/min) = 2,3237 * V (km/h) - 32,1548; ETE=4,09

Comprenant maintenant que les résultats de $VO_2\text{max}$ qu'on obtient à la suite d'un test sur ergocycle avec des patineurs courte piste n'est pas représentatif de leur capacité face à leur sport pratiqué, l'équation démontrée à la section 4.3.1 Comparaison des valeurs maximales de consommation d'oxygène obtenues entre les deux tests ($VO_2\text{max}$ glacie (L/min) = $0,6265 * VO_2\text{max}$ ergocycle - $0,6872$) peut également être utile pour les entraîneurs de ce milieu. En effet, cette équation permettra aux spécialistes du milieu de prédire le $VO_2\text{max}$ qui serait atteint sur glace à l'aide du résultat obtenu sur ergocycle, advenant le cas d'impossibilité pour un club d'effectuer des tests spécifiques sur glace. On rappelle qu'il est recommandé d'utiliser, dans le Tableau 5.1, le VO_2 absolu prédit et d'utiliser le poids (kg) réel de l'athlète pour obtenir le VO_2 relatif au poids.

5.3 Tableau d'équivalences de charge de travail entre vitesse de patinage et puissance sur ergocycle

L'équation de régression obtenue dans la section 4.4.1 La consommation d'oxygène à travers les incréments des deux tests maximaux (Puissance (W) = $94,0684 * VO_2$ (L/min) - $51,83$) nous a permis de réaliser le tableau suivant (Tableau 5.2) représentant les équivalences de charge de travail entre vitesse de patinage (s/tour) et puissance prédite sur glace, selon le résultat de VO_2 obtenu sur glace.

Tableau 5.2 Tableau d'équivalences de charge de travail entre vitesse de patinage et puissance sur ergocycle.

Dernier palier complété sur glace (N°)	Temps au tour (s/tour)	VO ₂ max absolu ¹ estimé (L/min)	Équivalence estimée de la puissance déployée sur glace ² (W)
1	14,00	2,27	161,7
2	13,70	2,38	172,1
3	13,40	2,49	182,4
4	13,20	2,60	192,7
5	12,90	2,71	203,1
6	12,70	2,82	213,4
7	12,40	2,93	223,8
8	12,20	3,04	234,1
9	12,00	3,15	244,5
10	11,80	3,26	254,8
11	11,60	3,37	265,2
12	11,40	3,48	275,5
13	11,20	3,59	285,9
14	11,00	3,70	296,2
15	10,80	3,81	306,6
16	10,60	3,92	316,9
17	10,50	4,03	327,3
18	10,30	4,14	337,6
19	10,20	4,25	348,0
20	10,00	4,36	358,3
21	9,90	4,47	368,7
22	9,70	4,58	379,0
23	9,60	4,69	389,4
24	9,40	4,80	399,7
25	9,30	4,91	410,0
26	9,20	5,02	420,4
27	9,10	5,13	430,7
28	8,90	5,24	441,1
29	8,80	5,35	451,4
30	8,70	5,46	461,8
31	8,60	5,57	472,1
32	8,50	5,68	482,5
33	8,40	5,79	492,8
34	8,30	5,90	503,2
35	8,20	6,01	513,5
36	8,10	6,12	523,9
37	8,00	6,23	534,2

1, VO₂ (L/min) = 0,1835 * V (km/h) - 2,9815; ETE=0,3463; 2, Puissance (W) = 94,0684 * VO₂ (L/min) - 51,83;

ETE=7,8

Ce tableau devient utile pour l'entraîneur et le préparateur physique advenant que des clubs de patinage n'aient pas accès à des heures de glace de manière suffisante pour l'entraînement de leurs athlètes de manière individuelle directement sur glace. Prenons l'exemple d'un athlète qui aurait de la difficulté à dépasser une certaine vitesse de patinage en entraînement libre ou à dépasser un certain palier au test sur glace. Son entraîneur qui ne pourrait travailler avec lui sur ce seuil en particulier en patinage sur glace pourrait cependant se fier à ce tableau pour trouver l'équivalence de charge de travail reliée à cette vitesse de patinage spécifique (en termes de temps/tour ou de numéro de palier) et ainsi faire travailler son athlète à une intensité équivalente sur ergocycle. Ce tableau révèle également que lors d'un entraînement en vitesse de groupe sur glace, le fait de patiner par exemple à 8,3 s/tour pour 3 tours (effort supramaximal selon le VO_2max moyen atteint avec la cohorte d'athlètes de ce travail à 10,6 s/tour), équivaldrait à pousser 503 W durant 24,9 s, ce qui représenterait ~150% du VO_2max obtenu sur glace, mais seulement 118% du VO_2max obtenu sur ergocycle.

Le Tableau 5.2 prend une plus grande importance lorsque la figure suivante (Figure 5) est utilisée pour extrapoler la charge de travail requise pour l'entraînement hors-glace.

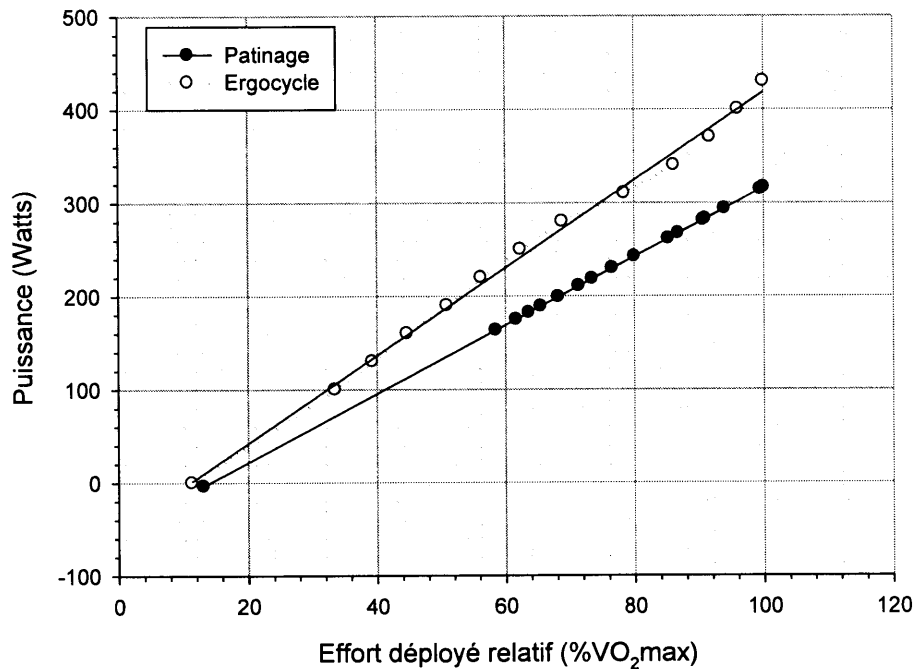


Figure 5.1 La puissance (W) déployée par rapport à l'effort exprimé en % du VO₂max obtenu dans les deux tests, respectivement.

Patinage (cercle noir), Puissance (W) = 3,6781 (x) - 51,83, $r = 1,0$, $p = 0,0001$, ÉTÉ = 0,759; Ergocycle (cercle blanc), Puissance (W) = 4,7034 (x) - 51,8268, $r = 0,998$, $p = 0,0001$, ETE = 7,82.

La figure permet de faire ressortir que lorsque le patineur déploie sur glace un effort à 80% de sa capacité maximale, cela représente un effort situé à environ 60% de sa capacité maximale sur ergocycle. Donc selon la Figure 5, afin d'obtenir un effort comparable ou supérieur à celui obtenu sur glace, à par exemple 80% de sa capacité maximale, l'athlète devrait s'entraîner à une intensité supérieure à 320 W, et non à l'équivalent de 240 W déployé sur glace, comme extrapolée.

CHAPITRE VI

CONCLUSION

Nous avons vu que la structure du test spécifique sur glace menait les athlètes à leurs capacités maximales, ce qui en fait un test valide en lien avec la prétention d'atteindre un effort maximal. Nous avons également réussi à créer plusieurs outils qui rendraient l'évaluation, le suivi et l'entraînement des athlètes de patinage de vitesse courte piste plus spécifique.

Le test sur glace permet d'abord aux gens du milieu d'avoir accès à un test spécifique à exercer sur glace, permettant aux athlètes d'obtenir leur VAM spécifique à leur sport.

De plus, le tableau d'estimation de la consommation d'oxygène et des capacités maximales sur glace permettra aux entraîneurs d'avoir une meilleure idée des aptitudes aérobies réelles de leurs athlètes et d'ainsi pouvoir mieux prescrire leur entraînement en conséquence. En effet, dans le domaine de la science du sport, les valeurs de $VO_2\text{max}$ sont fréquemment utilisées dans le développement de la prescription d'exercices spécifiques (Bassett Jr et Howley, 2000). Ainsi, s'ils ne se fient qu'aux résultats maximaux qu'ils obtiennent sur ergocycle, que nous avons vus significativement différents de ceux atteints sur glace, dans leur réelle discipline, les spécialistes qui s'occupent des athlètes se retrouvent malheureusement avec des résultats qui ne représentent pas le contexte sportif réel de l'athlète. C'est l'exemple qu'on essaye d'éviter du nageur chez qui le $VO_2\text{max}$ est mesuré à la course à pied sur tapis roulant. De plus, la relation VO_2 et FC (Figure 4.9) est différente entre les deux tests et ne permet pas d'extrapoler le VO_2 à partir de la relation obtenue sur ergocycle à celle de patinage en utilisant uniquement la FC mesurée sur glace.

De plus, le tableau d'équivalence de charge de travail est un autre outil qui permettra grandement d'aider l'équipe d'entraîneur s'occupant des athlètes de patinage de vitesse courte piste. Notamment, en leur permettant par exemple de travailler à une certaine puissance sur le vélo ou l'ergocycle, résistance pouvant représenter une vitesse critique de patinage (par exemple un seuil anaérobie) d'un athlète. Les patinoires étant réservées presque en tout temps par différents niveaux de patinage de vitesse, patinage artistique ou hockey, les temps de glace peuvent manquer pour l'entraînement individualisé des patineurs. Ce tableau d'équivalence de charge de travail permet donc des entraînements sur vélo ou ergocycle qui leur seront beaucoup plus spécifiques.

Il aurait été extrêmement pertinent de pouvoir évaluer l'élite, soit des patineurs hommes et femmes de l'équipe nationale afin de pouvoir voir quel palier ils sont capables d'atteindre au test sur glace, pour se donner une idée de la fenêtre complète réelle de durée du test sur glace, mais aussi pour avoir une meilleure idée des capacités de consommation d'oxygène maximale des meilleurs patineurs courte piste de notre pays.

Il aurait également été pertinent de pouvoir retourner tester le patron d'oxygénation musculaire des membres inférieurs des patineurs courte piste. Ayant remarqué la chute drastique de l'oxygénation durant une épreuve sur glace, nous aurions pu tester avec les appareils NIRS en direct quelle pourrait être la meilleure façon de réoxygéner les membres inférieurs durant le patinage : est-ce que quelques secondes en patinage relevé (par exemple 2 s) suffisent durant un bout droit de parcours pour refavoriser la circulation sanguine jusqu'aux membres inférieurs? Faut-il plutôt un tour complet en position relevée pour que la circulation redevienne optimale et que le patineur puisse reprendre de plus belle une course?

Finalement, il aurait été pertinent pour la fidélité du test de pouvoir faire davantage de prises de mesure à l'aide de mesures répétées sur glace à intervalle de 48 à 72 heures avec les mêmes patineurs (test-retest).

Il s'agit toutes de bonnes pistes de continuité toutefois pour les prochaines études qui porteront sur le sujet.

ANNEXE A

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (MAJEURS)

UQAM

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT DU PARTICIPANT MAJEUR

Validation d'un test continu progressif par paliers sur glace pour le patinage de vitesse courte piste

IDENTIFICATION

Responsable du projet	Fanie St-Jean Miron Étudiante à la maîtrise en kinanthropologie
Département, centre ou institut	Université du Québec à Montréal, Département de Kinanthropologie
Adresse postale	UQAM C.P. 8888, Succursale Centre ville, Montréal, Québec, H3C 3P8.
Adresse courriel	sti.fanie@gmail.ca
Numéro de téléphone	(514) 889-6351
Directeur de maîtrise	Alain Steve Comtois (514) 987-3000, poste 1506 comtois.alain-steve@uqam.ca

BUT GÉNÉRAL DU PROJET ET DIRECTION

Les patineurs de vitesse courte piste se faisant majoritairement évaluer avec des tests sur ergocycle, il n'existe actuellement pas de test spécifique afin d'évaluer leurs capacités cardiorespiratoires. Cette étude a pour but de valider un test d'évaluation des performances cardiorespiratoires spécifique à leur discipline, sur glace. Nous voudrions vérifier les différences de résultats cardiorespiratoires obtenus entre le test spécifique de vitesse aérobie maximale (VAM) sur glace et ceux obtenus au test de puissance aérobie maximale (PAM) sur ergocycle normalement utilisé dans le milieu. Cela nous permettra également de voir si la position de patinage occasionne un blocage au niveau de l'oxygénation des membres inférieurs, comme le mentionnent plusieurs auteurs d'articles scientifiques. Finalement, avec tous les résultats des participants obtenus au test sur glace, nous pourrions créer une charte d'estimation de la VO₂max selon l'âge et le dernier palier atteint, et rendre ce test accessible aux clubs de patinage de vitesse.

Ce projet est réalisé sous la direction d'Alain Steve Comtois, professeur du département des sciences de l'activité physique de la Faculté des sciences de l'UQAM. Il peut être rejoint au (514) 987-3000 poste 1506 ou par courriel à l'adresse : comtois.alain-steve@uqam.ca

CRITÈRES D'ADMISSIBILITÉ/D'EXCLUSION

Nous recrutons des patineurs courte piste des deux sexes, âgés entre 15 et 35 ans. Tous ceux éprouvant une blessure ou maladie limitant la pratique de l'activité physique seront exclus de l'étude.

PROCÉDURES

Vous êtes invité à participer à deux tests cardiovasculaires maximaux dans une fenêtre de 14 jours, avec un minimum de 48 heures entre la tenue des deux tests. Préféablement, le participant devrait exécuter ses tests dans les mêmes heures de la journée pour aller chercher des conditions des plus semblables. Chaque rencontre ne devrait pas durer plus d'une heure. On inclut dans cette heure l'installation de l'appareillage, l'échauffement au test, la durée du test jusqu'à épuisement, un retour au calme et la prise des dernières données pour les variables post-effort (le tout expliqué plus en détail plus bas). Il y a toujours possibilité d'organiser la tenue des tests avant un de vos entraînements à votre aréna si cela vous avantage sur les points de vue transport ou horaire.

On suggère aux participants de ne pas avoir mangé de repas pour les 2 heures précédant la tenue d'un test et idéalement ne pas avoir fait d'effort physique avant, le jour même. Il est important de s'assurer d'être bien hydratés avant, ne pas avoir consommé aucun stimulant (café, boisson énergétique, thé, cigarette) dans les 6 heures précédentes, ni bu d'alcool dans les 12 heures précédant la tenue de chaque test.

Test sur glace

Le test s'effectue sur une glace olympique (111,12m) de patinage de vitesse courte piste. Il est monté de sorte à être exécuté en continu en suivant des augmentations progressives de vitesse de patinage, sous forme de paliers dirigés par une bande audio. En ce sens, une bande sonore a été créée afin d'identifier chaque tour de glace et chaque changement de palier tout au long du test. Le premier palier débute à une vitesse de 28,6 km/h (7,94 m/s), représentant une vitesse de patinage de 14,00 sec/tour. Un palier représente trois tours de glace complets. La vitesse augmente de 0,6 km/h à chaque palier (voir tableau ci-bas). Quatre cônes sont placés sur la circonférence du trajet sur la glace pour diviser celui-ci en quatre quarts (voir schéma à la page suivante). La trame sonore indique quatre signaux sonores par tour, servant à guider le patineur pour qu'il se synchronise avec le passage vis-à-vis ceux-ci. Le premier signal est d'une tonalité différente des trois autres, ainsi advenant que l'athlète prenne du retard ou de l'avance, on serait toujours se repérer pour reprendre le fil. Le patineur doit suivre le rythme des incréments de vitesse jusqu'à épuisement; jusqu'à ce qu'il n'arrive plus à maintenir la vitesse instaurée (en retard aux cônes sur trois signaux sonores de suite) ou par arrêt volontaire.

Description des paliers selon les incréments avec leur vitesse de patinage et temps au tour respectifs

Paliers	Vitesse (km/h)	Vitesse (m/s)	Temps au tour (sec/tour)	Temps par palier (sec)	Temps cumulatif (sec)	Temps cumulatif (min)
1	28,6	7,94	14,00	42,00	42,00	0,70
2	29,2	8,11	13,70	41,10	83,10	1,39
3	29,8	8,28	13,40	40,20	123,30	2,06
4	30,4	8,44	13,20	39,60	162,90	2,72
5	31	8,61	12,90	38,70	201,60	3,36
6	31,6	8,78	12,70	38,10	239,70	4,00
7	32,2	8,94	12,40	37,20	276,90	4,62
8	32,8	9,11	12,20	36,60	313,50	5,23
9	33,4	9,28	12,00	36,00	349,50	5,83
10	34	9,44	11,80	35,40	384,90	6,42
11	34,6	9,61	11,60	34,80	419,70	7,00
12	35,2	9,78	11,40	34,20	453,90	7,57
13	35,8	9,94	11,20	33,60	487,50	8,13
14	36,4	10,11	11,00	33,00	520,50	8,68
15	37	10,28	10,80	32,40	552,90	9,22
16	37,6	10,44	10,60	31,80	584,70	9,75
17	38,2	10,61	10,50	31,50	616,20	10,27
18	38,8	10,78	10,30	30,90	647,10	10,79
19	39,4	10,94	10,20	30,60	677,70	11,30
20	40	11,11	10,00	30,00	707,70	11,80
21	40,6	11,28	9,90	29,70	737,40	12,29
22	41,2	11,44	9,70	29,10	766,50	12,78
23	41,8	11,61	9,60	28,80	795,30	13,26
24	42,4	11,78	9,40	28,20	823,50	13,73
25	43	11,94	9,30	27,90	851,40	14,19
26	43,6	12,11	9,20	27,60	879,00	14,65
27	44,2	12,28	9,10	27,30	906,30	15,11
28	44,8	12,44	8,90	26,70	933,00	15,55
29	45,4	12,61	8,80	26,40	959,40	15,99
30	46	12,78	8,70	26,10	985,50	16,43
31	46,6	12,94	8,60	25,80	1011,30	16,86
32	47,2	13,11	8,50	25,50	1036,80	17,28
33	47,8	13,28	8,40	25,20	1062,00	17,70
34	48,4	13,44	8,30	24,90	1086,90	18,12
35	49	13,61	8,20	24,60	1111,50	18,53
36	49,6	13,78	8,10	24,30	1135,80	18,93
37	50,2	13,94	8,00	24,00	1159,80	19,33

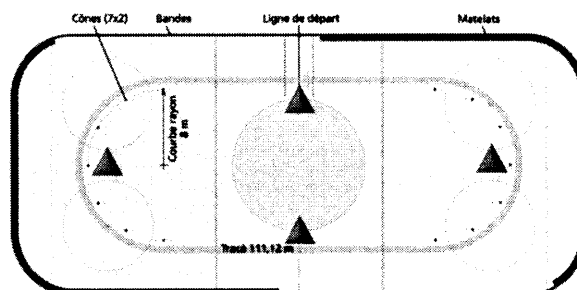


Schéma du test spécifique sur glace créé.

Test de PAM sur ergocycle

Le test s'effectue sur un ergocycle qui sera fourni par l'UQAM. Il s'agit d'un protocole Astrand modifié. Ainsi, le participant débute pour un échauffement à une résistance de 100 watts durant 3 min, en maintenant une cadence constante de pédalage entre 60 et 90 rpm. Après cet échauffement, les incréments en résistance sont de l'ordre de 30 W chaque minute, à travers lesquelles le participant doit pédaler jusqu'à épuisement (cardiovasculaire ou musculaire). Le test prend fin s'il n'arrive plus à maintenir la cadence en haut de 60 rpm ou par arrêt volontaire.

MESURES

Afin d'observer les différences entre les deux types de tests (spécifique sur glace et sur vélo), tous les paramètres seront mesurés durant les deux évaluations cardiorespiratoires :

- Mesures anthropométriques (sexe, âge, taille, poids)
- La consommation d'oxygène (VO_2) sera mesurée par un analyseur métabolique portable (*MetaMax*)
- La production de dioxyde de carbone (VCO_2) avec le *MetaMax*
- Le ratio d'échange respiratoire (RER) avec le *MetaMax*
- La ventilation (VE) avec le *MetaMax*
- Les fréquences cardiaques (FC) avec le *MetaMax*, ainsi qu'une montre *Polar V800* et un cardiofréquencemètre en guise de seconde mesure.
- La lactatémie sanguine sera mesurée aussi de deux façons. D'abord, à l'aide d'échantillons sanguins (gouttes de sang) prélevés sur le bout du doigt (index ou majeur) avant le début du test, ainsi que 3 fois après l'effort (récupération passive), soit après 2, 5 et 15 minutes suivant l'arrêt du participant aux tests (la prise de la gouttelette de sang est similaire à celle prélevée chez les diabétiques eux-mêmes pour leur suivi de taux de glucose sanguin à l'aide d'un glucomètre). La lactatémie sera également mesurée en continu avec un appareil portable à spectrométrie infrarouge étalonné (*BSA Insight*) installé au mollet pour détecter la concentration locale de lactate sanguin aux membres inférieurs.
- Les concentrations d'oxyhémoglobine (HbO_2) et de désoxyhémoglobine (Hb) de la microcirculation locale seront mesurées par spectrométrie près de l'infrarouge (NIRS) à l'aide d'appareil *Moxy*, dans le but de valider notre hypothèse de restriction au niveau de l'oxygénation des membres inférieurs en position accroupie lors du patinage. Puisque les deux jambes du patineur n'effectuent pas les poussées de façon identique (dans les virages notamment), deux appareils *Moxy* seront utilisés, soit un sur chaque jambe, positionnés sur les vastes latéraux des quadriceps (approximativement 10 cm caudal au-dessus du plateau tibial), là où avait été rapportée une désaturation en oxygène plus élevée.

AVANTAGES ET RISQUES

Votre participation à cette étude vous permettra d'avoir accès à des données précises sur vos capacités cardiorespiratoires à l'effort dans votre discipline. Avec tous les résultats recueillis, nous souhaitons créer une charte d'estimation de la VO_{2max} et de permettre aux clubs de patinage courte piste d'avoir accès à ce test par la suite.

Les intensités atteintes lors du test sur glace seront similaires à celles ressenties lors des courses en compétition et les intensités atteintes lors du test ergocycle sont en fait les mêmes que lors de vos évaluations de PAM que vous effectués déjà pour certains. Une sensation d'essoufflement et une fatigue musculaire pourraient suivre, ce qui est similaire à vos courses ou à vos entraînements de hautes intensités. S'il advenait que vous sentiez un malaise, douleur intense ou quoi que ce soit durant un exercice, vous pouvez évidemment cesser l'effort.

Il faut mentionner qu'il y a toujours possibilités de chute lors du test sur glace, tout comme lors de vos entraînements et courses. Pour minimiser les chances que cela arrive toutefois, une réfection de la glace sera demandée avant chaque tenue de test pour s'assurer d'une qualité de la glace qui soit optimale. Aussi, chaque participant effectue son test seul sur la glace, minimisant ainsi les chances de débalancement ou autre qui peuvent survenir lorsque plusieurs patineurs se retrouvent sur le tracé en même temps. Pour minimiser tout type de blessure autre, vous devrez porter votre combinaison complète (*skin*, casque, gants) par-dessus les différents appareils d'évaluation lors du test sur glace.

PARTICIPATION VOLONTAIRE

Votre participation à ce projet est tout à fait volontaire. Cela signifie que vous acceptez de participer au projet sans aucune contrainte ou pression extérieure, et que par ailleurs vous êtes libre de mettre fin à votre participation en tout temps au cours de la recherche. Dans ce cas, les renseignements vous concernant seraient détruits.

CONFIDENTIALITÉ ET ANONYMAT

Les résultats des différents paramètres mesurés seront dans le logiciel d'un ordinateur qui ne sera accessible que par l'étudiante responsable du projet et son directeur de recherche. Votre formulaire de consentement et toutes informations transcrites sur papier avant d'être transférées sur ordinateur seront conservés dans un cartable maintenu sous clé dans un casier au département des sciences de l'activité physique de l'UQAM. Vos noms ne paraîtront nulle part dans les écrits (mémoire de maîtrise, publications d'articles, présentations du projet de recherche, etc.). Dans les faits, vos noms seront convertis en code dans notre logiciel d'analyse des données de sorte à garder votre anonymat. Votre dossier sera détruit 5 ans après les dernières publications.

AUTORISATION POUR L'UTILISATION DES RÉSULTATS

Vous avez toujours le choix de rendre vos résultats des tests disponibles à des fins de recherche. Autorisez-vous la responsable (étudiante à la maîtrise) du projet d'utiliser vos résultats à des fins de recherche de manière anonyme?

(SVP, COCHEZ)

- J'autorise l'utilisation de mes résultats à des fins de recherche
 Je désire que mes résultats ne soient pas utilisés à des fins de recherche

COMPENSATION FINANCIÈRE

Il est à noter qu'aucune compensation financière n'est attribuée pour la participation à ce projet de recherche. Le bénéfice de participer à l'étude est pour vous d'avoir accès à des résultats précis grâce à l'utilisation d'appareils technologiques qui sont normalement peu accessibles dans d'autres situations.

CONTENU VISUEL

Il se peut que la responsable de l'étude souhaite utiliser du matériel visuel tel que photo ou vidéo des prises de données au courant de la collecte dans les différents arénas, à des fins d'enseignement et de présentations scientifiques. Bien entendu, ce matériel ne sera en aucun cas associé à vos résultats individuels. Autorisez-vous de potentiellement faire partie de photos ou vidéos prises lors des tests?

- J'accepte de potentiellement faire partie de photos ou vidéos concernant le projet de recherche
 Je n'autorise pas de faire partie de photos ou vidéos concernant le projet de recherche

DES QUESTIONS SUR LE PROJET OU SUR VOS DROITS?

Si vous avez des questions additionnelles sur le projet, sur votre participation et sur vos droits en tant que participant de recherche, ou pour vous retirer du projet, vous pouvez communiquer avec :

Fanie St-Jean Miron
 Adresse courriel : stj.fanie@gmail.com
 Numéro de téléphone : (514) 889-6351

REMERCIEMENTS

Votre collaboration est importante à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier. Si vous souhaitez obtenir un résumé écrit des principaux résultats de cette recherche, veuillez ajouter vos coordonnées ci-dessous :

SIGNATURES

Je reconnais avoir lu le présent formulaire de consentement et consens volontairement à participer à ce projet de recherche. Je reconnais aussi que le chercheur a répondu à mes questions de manière satisfaisante et que j'ai disposé suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de participer. Je comprends que ma participation à cette recherche est totalement volontaire et que je peux y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme ni justification à donner.

Signature du participant : _____ Date : _____

Nom (lettres moulées) et coordonnées : _____

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

Signature du chercheur responsable du projet
 ou de son, sa délégué(e) : _____ Date : _____

Nom (lettres moulées) et coordonnées : _____

Le Comité d'éthique de la recherche pour les étudiants avec des êtres humains de l'UQAM (CERPE3) a approuvé le projet de recherche auquel vous allez participer. Pour des informations concernant les responsabilités de l'équipe de recherche sur le plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains ou pour formuler une plainte, vous pouvez contacter la présidence du CERPE3, par l'intermédiaire de son secrétariat au numéro (514) 987-3000 # 1646 ou par courriel à cerpe3@UQAM.CA

ANNEXE B

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (MINEURS)

UQAM

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT DU PARTICIPANT MINEUR

Validation d'un test continu progressif par paliers sur glace pour le patinage de vitesse courte piste

IDENTIFICATION

Responsable du projet	Fanie St-Jean Miron Étudiante à la maîtrise en kinanthropologie
Département, centre ou institut	Université du Québec à Montréal, Département de Kinanthropologie
Adresse postale	UQAM C.P. 8888, Succursale Centre ville, Montréal, Québec, H3C 3P8
Adresse courriel	stjfanie@gmail.ca
Numéro de téléphone	(514) 889-6351
Directeur de maîtrise	Alain Steve Comtois (514) 987-3000, poste 1506 comtois.alain-steve@uqam.ca

BUT GÉNÉRAL DU PROJET ET DIRECTION

Les patineurs de vitesse courte piste se faisant majoritairement évaluer avec des tests sur ergocycle, il n'existe actuellement pas de test spécifique afin d'évaluer leurs capacités cardiorespiratoires. Votre enfant est invité à participer à ce projet d'étude qui a pour but de valider un test d'évaluation des performances cardiorespiratoires spécifique à leur discipline, sur glace. Nous voudrions vérifier les différences de résultats cardiorespiratoires obtenus entre le test spécifique de vitesse aérobie maximale (VAM) sur glace et ceux obtenus au test de puissance aérobie maximale (PAM) sur ergocycle normalement utilisé dans le milieu. Cela nous permettra également de voir si la position de patinage occasionne un blocage au niveau de l'oxygénation des membres inférieurs, comme le mentionnent plusieurs auteurs d'articles scientifiques. Finalement, avec tous les résultats des participants obtenus au test sur glace, nous pourrions créer une charte d'estimation de la VO₂max selon l'âge et le dernier palier atteint, et rendre ce test accessible aux clubs de patinage de vitesse.

Ce projet est réalisé sous la direction d'Alain Steve Comtois, professeur du département des sciences de l'activité physique de la Faculté des sciences de l'UQAM. Il peut être rejoint au (514) 987-3000 poste 1506 ou par courriel à l'adresse : comtois.alain-steve@uqam.ca

L'entraîneur de son club, _____, est en accord avec le déroulement de cette étude auprès de ces patineurs. La participation de votre enfant permettrait un avancement dans le domaine de l'évaluation des performances des patineurs de vitesse courte piste.

CRITÈRES D'ADMISSIBILITÉ/D'EXCLUSION

Nous recrutons des patineurs courte piste des deux sexes, âgés entre 15 et 35 ans. Tous ceux éprouvant une blessure ou maladie limitant la pratique de l'activité physique seront exclus de l'étude.

PROCÉDURES

Les patineurs sont invités à participer à deux tests cardiovasculaires maximaux dans une fenêtre de 14 jours, avec un minimum de 48 heures entre la tenue des deux tests. Préférentiellement, le participant devrait exécuter ses tests dans les mêmes heures de la journée pour aller chercher des conditions des plus semblables. Chaque rencontre ne devrait pas durer plus d'une heure. On inclut dans cette heure l'installation de l'appareillage, l'échauffement au test, la durée du test jusqu'à épuisement, un retour au calme et la prise des dernières données pour les variables post-effort (le tout expliqué plus en détail plus bas). Il y a toujours possibilité d'organiser la tenue des tests avant un de vos entraînements à votre aréna si cela vous avantage sur les points de vue transport ou horaire.

On suggère aux participants de ne pas avoir mangé de repas pour les 2 heures précédant la tenue d'un test et idéalement ne pas avoir fait d'effort physique avant, le jour même. Il est important de s'assurer

d'être bien hydratés avant, ne pas avoir consommé aucun stimulant (café, boisson énergétique, thé, cigarette) dans les 6 heures précédentes, ni bu d'alcool dans les 12 heures précédant la tenue de chaque test.

Test sur glace

Le test s'effectue sur une glace olympique (111.12m) de patinage de vitesse courte piste. Il est monté de sorte à être exécuté en continu en suivant des augmentations progressives de vitesse de patinage, sous forme de paliers dirigés par une bande audio. En ce sens, une bande sonore a été créée afin d'identifier chaque tour de glace et chaque changement de palier tout au long du test. Le premier palier débute à une vitesse de 28,6 km/h (7,94 m/s), représentant une vitesse de patinage de 14,0 sec/tour. Un palier représente trois tours de glace complets. La vitesse augmente de 0,6 km/h à chaque palier (voir tableau ci-bas). Quatre cônes sont placés sur la circonférence du trajet sur la glace pour diviser celui-ci en quatre quarts (voir schéma à la page suivante). La trame sonore indique quatre signaux sonores par tour, servant à guider le patineur pour qu'il se synchronise avec le passage vis-à-vis ceux-ci. Le premier signal est d'une tonalité différente des trois autres, ainsi advenant que l'athlète prenne du retard ou de l'avance, on serait toujours se repérer pour reprendre le fil. Le patineur doit suivre le rythme des incréments de vitesse jusqu'à épuisement; jusqu'à ce qu'il n'arrive plus à maintenir la vitesse instaurée (en retard aux cônes sur trois signaux sonores de suite) ou par arrêt volontaire.

Description des paliers selon les incréments avec leur vitesse de patinage et temps au tour respectifs

Paliers	Vitesse (km/h)	Vitesse (m/s)	Temps au tour (sec/tour)	Temps par palier (sec)	Temps cumulatif (sec)	Temps cumulatif (min)
1	28,6	7,94	14,00	42,00	42,00	0,70
2	29,2	8,11	13,70	41,10	83,10	1,39
3	29,8	8,28	13,40	40,20	123,30	2,06
4	30,4	8,44	13,20	39,60	162,90	2,72
5	31	8,61	12,90	38,70	201,60	3,36
6	31,6	8,78	12,70	38,10	239,70	4,00
7	32,2	8,94	12,40	37,20	276,90	4,62
8	32,8	9,11	12,20	36,60	313,50	5,23
9	33,4	9,28	12,00	36,00	349,50	5,83
10	34	9,44	11,80	35,40	384,90	6,42
11	34,6	9,61	11,60	34,80	419,70	7,00
12	35,2	9,78	11,40	34,20	453,90	7,57
13	35,8	9,94	11,20	33,60	487,50	8,13
14	36,4	10,11	11,00	33,00	520,50	8,68
15	37	10,28	10,80	32,40	552,90	9,22
16	37,6	10,44	10,60	31,80	584,70	9,75
17	38,2	10,61	10,50	31,50	616,20	10,27
18	38,8	10,78	10,30	30,90	647,10	10,79
19	39,4	10,94	10,20	30,60	677,70	11,30
20	40	11,11	10,00	30,00	707,70	11,80
21	40,6	11,28	9,90	29,70	737,40	12,29
22	41,2	11,44	9,70	29,10	766,50	12,78
23	41,8	11,61	9,60	28,80	795,30	13,26
24	42,4	11,78	9,40	28,20	823,50	13,73
25	43	11,94	9,30	27,90	851,40	14,19
26	43,6	12,11	9,20	27,60	879,00	14,65
27	44,2	12,28	9,10	27,30	906,30	15,11
28	44,8	12,44	8,90	26,70	933,00	15,55
29	45,4	12,61	8,80	26,40	959,40	15,99
30	46	12,78	8,70	26,10	985,50	16,43
31	46,6	12,94	8,60	25,80	1011,30	16,86
32	47,2	13,11	8,50	25,50	1036,80	17,28
33	47,8	13,28	8,40	25,20	1062,00	17,70
34	48,4	13,44	8,30	24,90	1086,90	18,12
35	49	13,61	8,20	24,60	1111,50	18,53

36	49,6	13,78	8,10	24,30	1135,80	18,93
37	50,2	13,94	8,00	24,00	1159,80	19,33

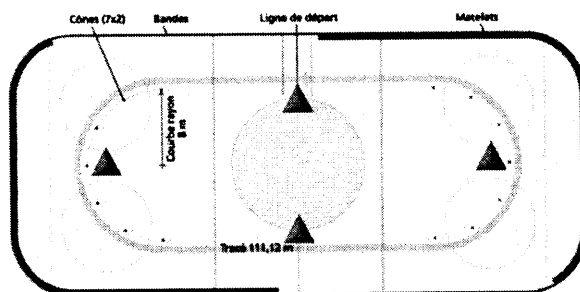


Schéma du test spécifique sur glace créé.

Test de PAM sur ergocycle

Le test s'effectue sur un ergocycle qui sera fourni par l'UQAM. Il s'agit d'un protocole Astrand modifié. Ainsi, le participant débute pour un échauffement à une résistance de 100 watts durant 3 min, en maintenant une cadence constante de pédalage entre 60 et 90 rpm. Après cet échauffement, les incréments en résistance sont de l'ordre de 30 W chaque minute, à travers lesquelles le participant doit pédaler jusqu'à épuisement (cardiovasculaire ou musculaire). Le test prend fin s'il n'arrive plus à maintenir la cadence en haut de 60 rpm ou par arrêt volontaire.

MESURES

Afin d'observer les différences entre les deux types de tests (spécifique sur glace et sur vélo), tous les paramètres seront mesurés durant les deux évaluations cardiorespiratoires :

- Mesures anthropométriques (sexe, âge, taille, poids)
- La consommation d'oxygène (VO_2) sera mesurée par un analyseur métabolique portable (*MetaMax*)
- La production de dioxyde de carbone (VCO_2) avec le *MetaMax*
- Le ratio d'échange respiratoire (RER) avec le *MetaMax*
- La ventilation (VE) avec le *MetaMax*
- Les fréquences cardiaques (FC) avec le *MetaMax*, ainsi qu'une montre *Polar V800* et un cardiofréquencemètre en guise de seconde mesure.
- La lactatémie sanguine sera mesurée aussi de deux façons. D'abord, à l'aide d'échantillons sanguins (gouttes de sang) prélevés sur le bout du doigt (index ou majeur) avant le début du test, ainsi que 3 fois après l'effort (récupération passive), soit après 2, 5 et 15 minutes suivant l'arrêt du participant aux tests (la prise de la gouttelette de sang est similaire à celle prélevée chez les diabétiques eux-mêmes pour leur suivi de taux de glucose sanguin à l'aide d'un glucomètre). La lactatémie sera également mesurée en continu avec un appareil portable à spectrométrie infrarouge étalonné (*BSX Insight*) installé au mollet pour déceler la concentration locale de lactate sanguin aux membres inférieurs.
- Les concentrations d'oxyhémoglobine (HbO_2) et de désoxyhémoglobine (Hb) de la microcirculation locale seront mesurées par spectrométrie près de l'infrarouge (NIRS) à l'aide d'appareil *Moxy*, dans le but de valider notre hypothèse de restriction au niveau de l'oxygénation des membres inférieurs en position accroupie lors du patinage. Puisque les deux jambes du patineur n'effectuent pas les poussées de façon identique (dans les virages notamment), deux appareils *Moxy* seront utilisés, soit un sur chaque jambe, positionnés sur les vastes latéraux des quadriceps (approximativement 10 cm caudal au-dessus du plateau tibial), là où avait été rapportée une désaturation en oxygène plus élevée.

AVANTAGES ET RISQUES

La participation de votre enfant à cette étude leur permettra d'avoir accès à des données précises sur leurs capacités cardiorespiratoires à l'effort dans leur discipline. Avec tous les résultats recueillis, nous souhaitons créer une charte d'estimation de la VO_{2max} et de permettre aux clubs de patinage courte piste

d'avoir accès à ce test par la suite.

Les intensités atteintes lors du test sur glace seront similaires à celles ressenties lors des courses en compétition et les intensités atteintes lors du test ergocycle sont en fait les mêmes que lors de leur évaluation de PAM qu'ils effectuent déjà, pour certains. Une sensation d'essoufflement et une fatigue musculaire pourraient suivre, ce qui est similaire à leurs courses ou à leurs entraînements de hautes intensités. S'il advenait qu'ils sentent un malaise, douleur intense ou quoi que ce soit durant un exercice, ils peuvent évidemment cesser l'effort.

Il faut mentionner qu'il y a toujours possibilités de chute lors du test sur glace, tout comme lors des entraînements et courses. Pour minimiser les chances que cela arrive toutefois, une réfection de la glace sera demandée avant chaque tenue de test pour s'assurer d'une qualité de la glace qui soit optimale. Aussi, chaque participant effectue son test seul sur la glace, minimisant ainsi les chances de débalancement ou autre qui peuvent survenir lorsque plusieurs patineurs se retrouvent sur le tracé en même temps. Pour minimiser tout type de blessure autre, les patineurs devront porter leur combinaison complète (*skin*, casque, gants) par-dessus les différents appareils d'évaluation lors du test sur glace.

PARTICIPATION VOLONTAIRE

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

Votre accord à participer implique également que vous acceptez que l'équipe de recherche puisse utiliser aux fins de la présente recherche (articles, mémoire, conférences et communications scientifiques) les renseignements recueillis à la condition qu'aucune information permettant d'identifier votre enfant ne soit divulguée publiquement, à moins d'un consentement explicite de votre part et de l'accord de votre enfant.

CONFIDENTIALITÉ ET ANONYMAT

Il est entendu que les renseignements recueillis auprès de votre enfant sont confidentiels. L'ensemble des résultats seront dans le logiciel d'un ordinateur qui ne sera accessible que par l'étudiante responsable du projet et son directeur de recherche. Le formulaire de consentement et toutes informations transcrites sur papier avant d'être transférées sur ordinateur seront conservés dans un cartable maintenu sous clé dans un casier au département des sciences de l'activité physique de l'UQAM. Les noms ne paraîtront nulle part dans les écrits (mémoire de maîtrise, publications d'articles, présentations du projet de recherche, etc.). Dans les faits, les noms seront convertis en code dans notre logiciel d'analyse des données de sorte à garder votre anonymat. Les dossiers seront détruits 5 ans après les dernières publications.

AUTORISATION DE TRANSMISSION DES RÉSULTATS

Votre enfant et vous avez toujours le choix de rendre vos résultats des tests disponibles à des fins de recherche. Autorisez-vous la responsable (étudiante à la maîtrise) du projet d'utiliser vos résultats à des fins de recherche de manière anonyme?
(SVP, COCHÉZ)

- J'autorise l'utilisation de mes résultats à des fins de recherche
 Je désire que mes résultats ne soient pas utilisés à des fins de recherche

COMPENSATION FINANCIÈRE

Au terme de cette recherche, votre enfant ne recevra pas de compensation monétaire. Le bénéfice de participer à l'étude est pour lui d'avoir accès à des résultats précis grâce à l'utilisation d'appareils technologiques qui sont normalement peu accessibles dans d'autres situations.

CONTENU VISUEL

Il se peut que la responsable de l'étude souhaite utiliser du matériel visuel tel que photo ou vidéo des prises de données au courant de la collecte dans les différents aréna, à des fins d'enseignement et de présentations scientifiques. Bien entendu, ce matériel ne sera en aucun cas associé aux résultats individuels de l'athlète. Autorisez-vous que potentiellement votre enfant fasse partie de photos ou vidéos prises lors des tests?

- J'accepte que mon enfant fasse partie de photos ou vidéos concernant le projet de recherche
 Je n'autorise pas que mon enfant fasse partie de photos ou vidéos concernant le projet

DES QUESTIONS SUR LE PROJET OU SUR VOS DROITS?

Pour des questions additionnelles sur le projet, sur vos droits ou ceux de votre enfant en tant que participant de recherche, ou pour retirer votre enfant du projet, vous pouvez communiquer avec :

Alain Steve Comtois

Adresse courriel : comtois.alain-steve@uqam.ca

Numéro de téléphone : (514) 987-3000 au poste 1083

REMERCIEMENTS

Votre collaboration et celle de votre enfant sont importantes à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier. Si vous souhaitez obtenir un résumé écrit des principaux résultats de cette recherche, veuillez ajouter vos coordonnées ci-dessous :

SIGNATURES

Je reconnais avoir lu le présent formulaire de consentement et consens volontairement à participer à ce projet de recherche. Je reconnais aussi que le chercheur a répondu à mes questions de manière satisfaisante et que j'ai disposé suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de participer. Je comprends que ma participation à cette recherche est totalement volontaire et que je peux y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme ni justification à donner.

Signature du participant : _____ Date : _____

Nom (lettres moulées) et coordonnées : _____

AUTORISATION PARENTALE

En tant que parent ou tuteur légal de _____, je reconnais avoir lu le présent formulaire de consentement et consens volontairement à ce que mon enfant participe à ce projet de recherche. Je reconnais aussi que le chercheur responsable a répondu à mes questions de manière satisfaisante, et que j'ai disposé suffisamment de temps pour discuter avec mon enfant de la nature et des implications de sa participation. Je comprends que sa participation à cette recherche est totalement volontaire et qu'il peut y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme ni justification à donner.

Signature du parent/tuteur légal : _____ Date : _____

Nom (lettres moulées) et coordonnées : _____

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

Signature du chercheur responsable du projet
 ou de son, sa délégué(e) : _____ Date : _____

Nom (lettres moulées) et coordonnées : _____

Le Comité d'éthique de la recherche pour les étudiants avec des êtres humains de l'UQAM (CERPE3) a approuvé le projet de recherche auquel vous allez participer. Pour des informations concernant les responsabilités de l'équipe de recherche sur le plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains ou pour formuler une plainte, vous pouvez contacter la présidence du CERPE3, par l'intermédiaire de son secrétariat au numéro (514) 987-3000 # 1646 ou par courriel à cerpe3@UQAM.CA

ANNEXE C

FICHE DES PARTICIPANTS

**TEST SUR GLACE**

DATE : ____/____/____
JOUR/MOIS/ANNÉE

PATINEUR : _____ CODE : _____

POIDS : _____ TAILLE (GRANDEUR) : _____

DATE DE NAISSANCE : _____ AGE : _____
JOUR/MOIS/ANNÉE

FC REPOS : _____ *AJOUTER LACTATÉ ET REPOS PLUS BAS

DERNIER PALIER COMPLÉTÉ LORS DU TEST SUR GLACE : _____

PERCEPTION DE L'EFFORT À L'ARRÊT DU TEST (ÉCHELLE DE BORG)

BORG (CARDIO) : ____/20 BORG (JAMBES) : ____/20

RAISON DE L'ARRÊT DU TEST SUR GLACE

- MAX (CARDIO)
 MAX (JAMBES)
 CHUTE
 NE POUVAIT PLUS SUIVRE LE RYTHME (RETARD SUR 3 TONALITÉS)
 SI AUTRE, JUSTIFIEZ : _____

PRISE DE LACTATÉMIE SANGUINE POST-EFFORT

REPOS : _____ MMOL/L

2 MIN : _____ MMOL/L

5 MIN : _____ MMOL/L

15 MIN : _____ MMOL/L

NOTES : _____

**TEST SUR ERGOCYCLE**

DATE : ___/___/___
JOUR/MOIS/ANNÉE

PATINEUR : _____ CODE : _____

POIDS : _____ TAILLE (GRANDEUR) : _____

DATE DE NAISSANCE : _____ AGE : _____
JOUR/MOIS/ANNÉE

FC REPOS : _____ *AJOUTER LACTATE REPOS PLUS HAUT

DERNIER PALIER COMPLÉTÉ LORS DU TEST DE PAM : _____ WATTS
• PLUS _____ SEC MAINTENU SUR LE PALIER À _____ WATTS

PERCEPTION DE L'EFFORT À L'ARRÊT DU TEST (ÉCHELLE DE BORG)

BORG (CARDIO) : _____/20 BORG (JAMBES) : _____/20

RAISON DE L'ARRÊT DU TEST DE PAM

- MAX (CARDIO)
 MAX (JAMBES)
 SI AUTRE, JUSTIFIEZ : _____

PRISE DE LACTATÉMIE SANGUINE POST-EFFORT

REPOS : _____ MMOL/L
2 MIN : _____ MMOL/L
5 MIN : _____ MMOL/L
15 MIN : _____ MMOL/L

NOTES : _____

ANNEXE D

ÉCHELLE DE BORG

L'échelle de Borg que nous avons utilisé afin de qualifier l'effort cardiovasculaire et musculaire des participants à la fin des tests sur glace et sur ergocycle était la suivante, de 6 à 20;

6	Repos, aucun effort
7	Très, très faible
8	
9	Très faible
10	
11	Modéré
12	
13	Un peu difficile
14	
15	Difficile
16	
17	Très difficile
18	
19	Très, très difficile
20	

ANNEXE E

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

UQAM | Comités d'éthique de la recherche
avec des êtres humains

No. de certificat: 2167
Certificat émis le: 31-10-2017

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

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

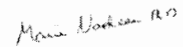
Titre du projet:	Validation d'un test continu progressif par paliers sur glace pour le patinage de vitesse courte piste
Nom de l'étudiant:	Fanie ST-JEAN MIRON
Programme d'études:	Maîtrise en kinanthropologie
Direction de recherche:	Aïain Steve COMTOIS

Modalités d'application

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

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

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


Marie Nadeau
Marie Nadeau
Présidente du CERPE 3 : Faculté des sciences, faculté des sciences de l'éducation
Professeure, Département didactique des langues

BIBLIOGRAPHIE

- Ade, C.J., Broxterman, R.M., Moore, A. et Barstow, T.J.J.J.o.A.P. (2017). Decreases in maximal oxygen uptake following long-duration spaceflight: Role of convective and diffusive O₂ transport mechanisms. *122*(4), 968-975.
- Åstrand, P.-O. (1976). Quantification of exercise capability and evaluation of physical capacity in man. *Progress in Cardiovascular Diseases*, *19*(1), 51-67.
- Bassett Jr, D.R. et Howley, E.T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *32*(1), 70.
- Bishop, D., Jenkins, D.G. et Mackinnon, L.T. (1998). The effect of stage duration on the calculation of peak $\dot{V}O_2$ during cycle ergometry. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *1*(3), 171-178.
- Boer, R.W.d., Ettema, G.J.C., Gorkum, H.v., Groot, G.d. et Schenau, G.J.v.I. (1987). Biomechanical Aspects of Push-Off Techniques in Speed Skating the Curves. *International Journal of Sport Biomechanics*, *3*(1), 69-79.
- Borg, G.A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med sci sports exerc*, *14*(5), 377-381.
- Boucher, V.G., Parent, A.A., St-Jean Miron, F., Leone, M. et Comtois, A.S. (2017). Comparison Between Power Off-Ice Test and Performance on-Ice Anaerobic Testing. *J Strength Cond Res*.
- Bourdon, P. (2013). Blood lactate thresholds: concepts and applications. *Physiological Tests for Elite Athletes. 2nd ed. Champaign, IL: Human Kinetics*, 77-101.
- Buchfuhrer, M.J., Hansen, J.E., Robinson, T.E., Sue, D.Y., Wasserman, K. et Whipp, B.J. (1983). Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *Journal of applied physiology*, *55*(5), 1558-1564.

- Camarda, S.R.d.A., Tebexreni, A.S., Páfaró, C.N., Sasai, F.B., Tambeiro, V.L., Juliano, Y. et Barros Neto, T.L.d. (2008). Comparison of maximal heart rate using the prediction equations proposed by Karvonen and Tanaka. *Arquivos brasileiros de cardiologia*, 91(5), 311-314.
- Cerretelli, P. et Prampero, P.E. (1987). Gas exchange in exercise. *Comprehensive Physiology*.
- Cink, R.E. et Thomas, T.R. (1981). Validity of the Astrand-Ryhming nomogram for predicting maximal oxygen intake. *British Journal of Sports Medicine*, 15(3), 182-185.
- Cooper, K.H. (1968). A means of assessing maximal oxygen intake: Correlation between field and treadmill testing. *JAMA*, 203(3), 201-204.
- Costill, D.L., Wilmore, J.H. et Kenney, W.L. (2013). *Physiologie du sport et de l'exercice*. : De Boeck.
- Coulombe, B.P. (2014). *Le patinage de vitesse courte piste: techniques et principes mécaniques : livre à réalité augmentée*.
- Coyle, J.K. (2010, February 2010). An Introduction of Short Track Speedskating. *Vancouver Journal* #7, #7.
- Cumming, G.R. et Borysyk, L.M. (1972). Criteria for maximum oxygen uptake in men over 40 in a population survey. *Medicine and science in sports*, 4(1), 18-22.
- Cumming, G.R., Borysyk, L.M.J.M. et sports, s.i. (1972). Criteria for maximum oxygen uptake in men over 40 in a population survey. 4(1), 18-22.
- De Boer, R.W., Cabri, J., Vaes, W., Clarijs, J.P., Hollander, A.P., De Groot, G. et Van Ingen Schenau, G.J. (1987). Moments of force, power, and muscle coordination in speedskating. [Article]. *International Journal of Sports Medicine*, 8(6), 371-378.
- de Koning, J.J., de Groot, G. et van Ingen Schenau, G.J. (1992). Ice friction during speed skating. [Article]. *Journal of Biomechanics*, 25(6), 565-571.

- De Koning, J.J., Foster, C., Lampen, J., Hettinga, F. et Bobbert, M.F. (2005). Experimental evaluation of the power balance model of speed skating. [Article]. *Journal of Applied Physiology*, 98(1), 227-233.
- Doutreleau, S. (2011, Mai 2011). Le patinage de vitesse; contraintes cardiovasculaires. *Cardio et Sport*, no27.
- Duncan, G.E., Howley, E.T. et Johnson, B.N. (1997). Applicability of VO₂max criteria: discontinuous versus continuous protocols. *Medicine and science in sports and exercise*, 29(2), 273-278.
- Essen, B., Jansson, E., Henriksson, J., Taylor, A. et Saltin, B. (1975). Metabolic characteristics of fibre types in human skeletal muscle. *Acta Physiologica*, 95(2), 153-165.
- Ferguson, B.S., Rogatzki, M.J., Goodwin, M.L., Kane, D.A., Rightmire, Z. et Gladden, L.B. Lactate metabolism: historical context, prior misinterpretations, and current understanding. *European journal of applied physiology*, 1-38.
- Formenti, F. et Minetti, A.E. (2007). Human locomotion on ice: the evolution of ice-skating energetics through history. *Journal of Experimental Biology*, 210(10), 1825-1833.
- Foster, C., Rundell, K.W., Snyder, A.C., Stray-Gundersen, J., Kemkers, G., Thometz, N., Broker, J. et Knapp, E. (1999). Evidence for restricted muscle blood flow during speed skating. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(10), 1433.
- Fox, S.M., Naughton, J.P. et Haskell, W.L. (1971). Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Annals of clinical research*, 3(6), 404-432.
- Froelicher, V.F., Jr., Thompson, A.J., Jr., Noguera, I., Davis, G., Stewart, A.J. et Triebwasser, J.H. Prediction of Maximal Oxygen Consumption. *CHEST*, 68(3), 331-336.
- Gollnick, P.D., Armstrong, R., Saltin, B., Saubert, C.t., Sembrowich, W.L. et Shepherd, R.E. (1973). Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 34(1), 107-111.
- Gore, C.J.T., Rebecca K. et Fuller, K.L.S., Tom. (2013). Determination of Maximal Oxygen Consumption (VO₂max). *Physiological Tests for Elite Athletes. 2nd ed. Champaign, IL: Human Kinetics*, 103-122.

- Hesford, C.M., Laing, S., Cardinale, M. et Cooper, C.E. (2013). Effect of race distance on muscle oxygenation in short-track speed skating. *Med Sci Sports Exerc*, 45(1), 83-92.
- Hesford, C.M., Laing, S.J., Cardinale, M. et Cooper, C.E. (2012). Asymmetry of quadriceps muscle oxygenation during elite short-track speed skating. *Med Sci Sports Exerc*, 44(3), 501-508.
- Heyward, V.H. et Gibson, A. (2014). *Advanced fitness assessment and exercise prescription 7th edition*. : Human kinetics.
- Hill, A. et Lupton, H. (1923). Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *QJM*(62), 135-171.
- Howley, E.T., Bassett, D.R. et Welch, H.G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(9), 1292-1301.
- Issekutz, B., Birkhead, N. et Rodahl, K. (1962). Use of respiratory quotients in assessment of aerobic work capacity. *Journal of Applied Physiology*, 17(1), 47-50.
- Ivy, J., Withers, R., Van Handel, P., Elger, D. et Costill, D. (1980). Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *Journal of Applied Physiology*, 48(3), 523-527.
- Kandou, T.W., Houtman, I.L., vd Bol, E., de Boer, R.W., de Groot, G. et van Ingen Schenau, G.J. (1987). Comparison of physiology and biomechanics of speed skating with cycling and with skateboard exercise. *Can J Sport Sci*, 12(1), 31-36.
- Koeppe, K.K. et Janot, J.M. (2008). A Comparison of $\dot{V}O_2$ max and Metabolic Variables Between Treadmill Running and Treadmill Skating. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(2), 497-502.
- Koning, D. et van Ingen Schenau, G. (2000). Performance-determining factors in speed skating. *Biomechanics in sport: Performance enhancement and injury prevention. Olympic encyclopaedia of sports medicine*, 9, 232-246.

- Krieg, A., Meyer, T., Clas, S. et Kindermann, W. (2006). Characteristics of inline speedskating- Incremental tests and effect of drafting. *International journal of sports medicine*, 27(10), 818-823.
- Léger, L.A. et Lambert, J. (1982). A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO₂ max. [Article]. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 49(1), 1-12.
- Léger, L.A., Mercier, D., Gadoury, C. et 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. et Comtois, A.S. (2007). An on-ice aerobic maximal multistage shuttle skate test for elite adolescent hockey players. [Article]. *International Journal of Sports Medicine*, 28(10), 823-828.
- Lucía, A., Hoyos, J., Pérez, M. et Chicharro, J.L. (2000). Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(10), 1777-1782.
- Martinez, M.L., Ibanez Santos, J., Grijalba, A., Santesteban, M.D. et Gorostiaga, E.M. (1993). Physiological comparison of roller skating, treadmill running and ergometer cycling. *Int J Sports Med*, 14(2), 72-77.
- McArdle, W.K., Frank I et Katch, V.L. (2001). *Physiologie de l'activité physique: énergie, nutrition, performance*. (4th éd.) : Maloine.
- Medicine, A.C.o.S. (1991). *Guidelines for exercise testing and prescription*. (4th éd.) : Williams & Wilkins.
- Michon, E. (2012). Les principes du patinage efficace : Analyse et propositions.
- Nobes, K., Montgomery, D., Pearsall, D., Turcotte, R., Lefebvre, R. et Whittom, F.J.C.j.o.a.p. (2003). A comparison of skating economy on-ice and on the skating treadmill. 28(1), 1-11.
- Pendergast, D.R., Leddy, J.J. et Venkatraman, J.T. (2000). A perspective on fat intake in athletes. *J Am Coll Nutr*, 19(3), 345-350.

- Péronnet, F., Aguilaniu, B.J.R.p. et neurobiology. (2006). Lactic acid buffering, nonmetabolic CO₂ and exercise hyperventilation: a critical reappraisal. *150*(1), 4-18.
- Peterson, B.J., Fitzgerald, J.S., Dietz, C.C., Ziegler, K.S., Baker, S.E. et 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.
- Piucco, T., dos Santos, S.G., de Lucas, R.D. et Dias, J.A. (2015). A novel incremental slide board test for speed skaters: Reliability analysis and comparison with a cycling test. [Article]. *Apunts Medicina de l'Esport*, *50*(186), 57-63.
- Robergs, R., Chwalbinska-Moneta, J., Mitchell, J., Pascoe, D., Houmard, J. et Costill, D. (1990). Blood lactate threshold differences between arterialized and venous blood. *International journal of sports medicine*, *11*(06), 446-451.
- Rundell. (1996a). Compromised oxygen uptake in speed skaters during treadmill in-line skating. *Med Sci Sports Exerc*, *28*(1), 120-127.
- Rundell. (1996b). Effects of drafting during short-track speed skating. *Med Sci Sports Exerc*, *28*(6), 765-771.
- Rundell, K.W., Nioka, S. et Chance, B. (1997). Hemoglobin/myoglobin desaturation during speed skating. *Med Sci Sports Exerc*, *29*(2), 248-258.
- Schenau, G.J.v.l., Boer, R.W.d. et Groot, G.d. (1987). On the Technique of Speed Skating. *International Journal of Sport Biomechanics*, *3*(4), 419-431.
- Serna, L.Y., Mañanas, M.A., Hernández, A.M. et Rabinovich, R.A.J.F.i.p. (2018). An improved dynamic model for the respiratory response to exercise. *9*, 69.
- Shibuya, K.-i. et Tanaka, J. (2003). Skeletal Muscle Oxygenation During Incremental Exercise. *Archives of Physiology and Biochemistry*, *111*(5), 475-478.
- Skinner, J.S. et McLellan, T.H. (1980). The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research quarterly for exercise and sport*, *51*(1), 234-248.

- Speed Skating Canada site officiel*. (2015). de www.speedskatingcanada.com
- Tanaka, H., Monahan, K.D. et Seals, D.R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 153-156.
- Tokmakidis, S.P., Léger, L.A., Piliandis, T.C.J.E.j.o.a.p. et physiology, o. (1998). Failure to obtain a unique threshold on the blood lactate concentration curve during exercise. 77(4), 333-342.
- van Ingen Schenau, G.J. (1982). The influence of air friction in speed skating. *Journal of Biomechanics*, 15(6), 449-458.
- van Ingen Schenau, G.J., de Boer, R.W., Geysel, J.S.M. et de Groot, G. (1988). Supramaximal test results of male and female speed skaters with particular reference to methodological problems. [Article]. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57(1), 6-9.
- van Ingen Schenau, G.J., de Koning, J.J. et de Groot, G. (1994). Optimisation of sprinting performance in running, cycling and speed skating. *Sports Med*, 17(4), 259-275.
- Wasserman, K. (1994). Principles in exercise testing and interpretation. *Principles in exercise testing and interpretation*.
- Weltman, A., Snead, D., Stein, P., Seip, R., Schurrer, R., Rutt, R. et Weltman, J. (1990). Reliability and validity of a continuous incremental treadmill protocol for the determination of lactate threshold, fixed blood lactate concentrations, and VO₂max. *International journal of sports medicine*, 11(01), 26-32.
- Yoon, B.K., Kravitz, L. et Robergs, R. (2007). VO₂max, protocol duration, and the VO₂ plateau. [Article]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(7), 1186-1192.