

Université de Montréal

**Suivi longitudinal de la charge externe de joueurs
professionnels de hockey sur glace au cours d'une saison**

par Pierre Allard

École de kinésiologie et des sciences de l'activité physique
Faculté de Médecine

Mémoire présentée

en vue de l'obtention du grade de Maîtrise

en Science de l'activité physique

Décembre 2018

© Pierre Allard, 2018

Résumé

Pour une équipe de la ligue américaine de hockey (LAH), le calendrier compte 76 matchs répartis sur 28 semaines au cours desquelles les équipes se battent pour une place en séries éliminatoires. En plus des matchs, les joueurs doivent participer à des séances d'entraînement sur glace et hors glace afin de maintenir et développer leurs habiletés et leur forme physique spécifiques au hockey. Le présent mémoire avait les objectifs suivants: (1) tracer un portrait de la tâche du joueur de hockey et mieux comprendre l'évolution et les changements du hockey sur glace moderne (2) décrire l'impact de ces changements selon la position du joueur (3) détailler les différentes méthodes de suivi de la charge externe qui sont utilisées par d'autres sports collectifs tels le soccer, le rugby et le football australien et exposer les défis associés à leur mise en place au sein d'une équipe professionnelle de hockey sur glace (4) faire le suivi de la charge externe d'une équipe de hockey professionnelle, avec l'aide d'accéléromètres, pour mieux comprendre l'évolution de la charge externe lors de la saison. Pour ce faire, cinquante joueurs, qui à un moment ou à un autre, ont fait partie de l'alignement d'une équipe de la ligue américaine de hockey durant la saison 2017-18 de la LAH, ont participé à une étude sur le suivi de la charge externe. Avec l'aide d'accéléromètres, les données de chaque séance d'entraînement et match au cours de la saison ont été recueillies et analysées. Les résultats ont révélé que l'intensité et la charge d'entraînement diffèrent selon la position du joueur lors des matchs et des entraînements précédant un match. Ces résultats soulèvent l'importance d'un suivi attentif de la charge externe et l'utilisation d'accéléromètres semble présenter un grand potentiel pour le suivi individualisé des joueurs tout au long d'une saison de hockey.

Mots-clés : sport professionnel, accélérométrie, charge d'entraînement sur glace.

Abstract

For a typical team of the American Hockey League (AHL), the season has 76 matches spread over 28 weeks in which teams compete for a place in the playoffs. In addition to matches, players have to participate in on- and off-ice training sessions to maintain/build hockey-specific skills and fitness. The current thesis had the following purposes: (1) to draw a portrait of the physical demands place on the player and to better understand the evolution and changes that have occurred in modern ice hockey (2) to describe the impact of these changes as they relate to the position of the player (3) to detail the different methods of external load monitoring that are used in other sports such as soccer, rugby and Australian football and expose the challenges associated with employing them with a professional ice hockey team (4) to track the external load of a professional hockey team, through the use of accelerometers, to better understand its evolution during the season. Fifty players, who at one time or another were part of an American Hockey League team during the 2017-18 AHL season, participated in a study on external load monitoring. Using accelerometers, data from each training session and matches during the season were collected and analyzed. Results revealed that the intensity and the training load differed according to the position of the player during the matches and the trainings sessions preceding a match. These results raised the importance of carefully monitoring external load although the used of accelerometers seemed to present great potential for individualized monitoring of the player's external load throughout a hockey season.

Keywords : professional sport, external load, accelerometry, on-ice load

Table des matières

Résumé	i
Abstract	ii
Table des matières.....	iii
Liste des tableaux.....	v
Liste des figures	vii
Liste des sigles	x
Remerciements	xi
Introduction	1
Chapitre 1: Analyse de la tâche du joueur de hockey sur glace	3
1.1 Évolution du sport.....	3
1.2 Caractéristiques du jeu et des joueurs de hockey sur glace.....	7
1.2.1 Évolution des mesures anthropométriques des joueurs	12
1.2.2 Premières mesures des exigences de la pratique du hockey sur glace	16
Chapitre 2: Mesure de la charge externe d'entraînement.....	24
2.1 Analyse notationnelle	26
2.2 Reconnaissance de mouvements par camera	27
2.3 Centrales inertielle et accélérométrie.....	28
2.3.1 Mesure de "Player Load™"	29
2.3.2 Validité et fidélité des centrales inertielle pour la mesure de la charge externe.....	30
2.3.3 Utilisation de centrales inertielle dans les sports d'équipe intérieurs	35
2.4 Systèmes de positionnement local et global (LPS et GPS)	38
2.4.1 Mesure des distances parcourues sur la glace au cours d'un match.....	40
2.4.2 Combinaison de centrales inertielle et système de positionnement.....	41
Chapitre 3: Suivi longitudinal de la charge externe.....	42
3.1 Suivi de la charge externe au cours d'une saison.....	42
Chapitre 4: Article.....	49
In-season session training load relative to match load in professional ice hockey.....	49
Abstract	49
Introduction	50

Methods.....	53
Participants	53
Methodology.....	53
Physical training.....	53
Positional Groups.....	54
External Load Measurement.....	54
Statistical Analysis	55
Results	56
Absolute load and intensity during match by positions	56
EL and Intensity Relative to Match by Period and Players Position	57
Relative load and Intensity during training by positions and pre-match days.....	59
Relative Weekly Cumulative Load by Month and Players Position.....	61
Discussion.....	62
Match on-ice load and on-ice load/min.....	62
Pre-game training sessions on-ice load and on-ice load/min	63
Weekly on-ice Load Over the Season.....	63
Practical Applications	64
Conclusion.....	65
References	66
Chapitre 5: Discussion générale	70
5.1 Individualisation du suivi de la charge externe.....	70
5.1.1 Utilité de mesurer la charge externe des joueurs non-partants.....	73
5.1.2 Le suivi de la charge externe dans le retour au jeu post-blessure	73
5.2 Potentiel encore inexploité lié à la mesure de la charge externe	76
5.3 Les contraintes associées à la mise en place d'un suivi de l'entraînement au hockey professionnel.....	78
5.4 Savoir, savoir-faire et savoir être	80
5.5 Futur du hockey sur glace.....	81
Bibliographie	84

Liste des tableaux

Tableau I. Tiré de Green et coll. (1976). Analyse notationnelle des moyennes par position, par période, et pour l'ensemble d'un match de niveau universitaire pour le temps de jeu (s), le nombre de présence sur la glace, le temps de jeu par présence (s), le nombre d'arrêts de jeu par présence, le temps de jeu entre les arrêts (s), la durée des arrêts de jeu (s), le temps de repos au banc entre les présences (s), la vitesse par présence (m/min) et la fréquence cardiaque par présence (bpm).....	17
Tableau II. Tiré de Montgomery et coll. (2004). Durée et nombre d'efforts en patinage avant, par position, lors de 10 matchs de la LNH.	20
Tableau III. Tiré de Montgomery et coll. (2004). Durée et nombre d'efforts en patinage arrière, par position, lors de 10 matchs de la LNH.	21
Tableau IV. Tiré de Montgomery et coll. (2004). Nombre de contacts physiques, par position, lors de 10 matchs de la LNH. La variable mouvement est divisée en moyenne pour l'équipe et en moyenne pour les joueurs les plus actifs.	21
Tableau V. Tiré de Brocherie et coll. (2018). Caractéristiques des présences sur la glace par période lors d'un match de hockey de niveau international. Moyenne par période et pour l'ensemble du match pour les variables de temps de jeu (en minutes), nombre de présences sur la glace, temps de jeu par présence (en secondes), durée des arrêts de jeu (en secondes) et temps de repos au banc entre les présences (en minutes).....	23
Tableau VI. Tiré de Brocherie et coll. (2018). Moyenne par période pour les variables d'activités à faible intensité (sur place, en glisse, patinage avant à faible vitesse et patinage arrière à faible vitesse) et à haute intensité (patinage rapide vers l'avant, patinage à pleine vitesse vers l'avant, patinage rapide et à pleine vitesse vers l'arrière).....	23
Tableau VII. Tiré de Boyd et coll. (2011). Sommaire des résultats de fiabilité intra- et inter-appareils lors de tests effectués en laboratoire, et sur le terrain lors de match de football australien.....	33
Tableau VIII. Tiré de Luteberget et coll. (2018). Fiabilité inter-accéléromètres pour l'amplitude et la direction des accélérations mesurées lors des tâches en laboratoire.....	33
Tableau IX. Tiré de Luteberget et coll. (2018). Fiabilité inter-accéléromètres selon les différentes bandes d'intensité prédéfinies.....	34

Tableau X. Tiré de Van Iterson et coll. (2017). Fiabilité test-retest selon les neuf tâches accomplies par les huit joueurs ayant participé à l'étude.....	34
Tableau XI. Tiré de Frencken et coll. (2010). Différences entre les mesures réelles (lignes placées au sol) et mesures de distance fournies par le système LPM pour tous les parcours de marche et de sprint (30 essais par parcours). Les données sont présentées en cm.	39
Tableau XII. Tiré de Akenhead et coll. (2016). Moyenne quotidienne d'événements temporels, FC, et paramètres d'accélérométrie pour chacune des positions	44
Tableau XIII. Tiré de Stevens et coll. (2017). Statistiques descriptives (écart-type) des variables de charges d'entraînements pour les joueurs réguliers et non-partants selon le type de journée.....	46
Tableau XIV. Tiré de Blach et coll. (2016). Probabilité de blessure en utilisant l'équation de charge de travail aiguë et chronique. Par exemple, si un athlète retourne au jeu avec une semaine de charge externe à 100% (charge de travail aiguë) mais qu'au cours des 4 dernières semaines, dû à sa blessure, son travail n'a représenté que 40% de sa charge normale (charge de travail chronique), on peut s'attendre à ce que la probabilité de se blesser la semaine suivante soit de 28%.....	75

Liste des figures

- Figure 1. Tirée du guide officiel et registre de la LNH (2017), page 145. Expansion de la Ligue Nationale de Hockey (LNH) entre 1917 et 2017, par le nombre d'équipes en faisant partie.....5
- Figure 2. Tirée du guide officiel et registre de la LNH (2017), page 145. Nombre de matchs joués par saison entre 1917 et 2017, incluant les trois conflits de travail (“lockouts”) dans l’histoire de la LNH : les saisons 1993-94 et 2012-13 ont été écourtées à 48 matchs, tandis que la saison 2004-05 fut annulée en sa totalité.....6
- Figure 3. Tirée de la librairie nationale de médecine américaine (PubMed), en date du 1er décembre 2018. Nombre d'études contenant le terme “ice hockey” entre 1958 et 2018.8
- Figure 4. Tirée de Ferguson et coll. (1969). Appareillage utilisé pour analyser les gaz expirés, placé sur le dos des joueurs et relié au masque sur le visage pour la collecte des gaz lors de l'épreuve d'effort sur glace.9
- Figure 5. Tirée de Montgomery (2006). Évolution de la masse corporelle moyenne (kg) des joueurs du Canadien de Montréal, entre 1917 et 2003. Une erreur semble s'être glissée dans la figure et la masse des joueurs devrait être en livres (lbs) et non en kilogrammes (kg). 13
- Figure 6. Tirée de Montgomery (2006). Évolution de la taille moyenne (cm) des joueurs du Canadien de Montréal, entre 1917 et 2003..... 14
- Figure 7. Tirée du site web www.hockey-reference.com, le 15 décembre 2018.Évolution de la masse corporelle moyenne des joueurs dans la LNH entre 1918 et 2018..... 14
- Figure 8. Tirée du site www.hockey-reference.com, le 15 décembre 2018. Évolution de la taille moyenne dans la LNH, entre 1918 et 2018. 15
- Figure 9. Tirée de Roell et coll. (2018). Les informations de position sont combinées à celles fournies par l'accéléromètre (accélérations en trois dimensions), le gyroscope (rotations dans les trois dimensions) et du magnétomètre (orientations dans les trois dimensions). Le système de coordonnées global (SCG, en gris) représente le référentiel avec l'axe des x pointant vers le nord magnétique. (1) Représente l'orientation de l'IMU dans le SCG. (2) Résultat de la fusion des données de l'accéléromètre et du gyroscope. Les axes horizontaux sont parallèles à la surface de la Terre, mais la rotation autour de l'axe z est absente. (3) La fusion des données de

l'accéléromètre et du gyroscope à celle du magnétomètre permet d'aligner le système de coordonnées local avec le SCG.	32
Figure 10. Tirée de Montgomery et coll. (2010). La charge physique accumulée pour les exercices d'entraînements et des matchs au basketball, déterminée par accélérométrie après normalisation du temps dans chaque condition. Les valeurs sont en unités arbitraires (a.u.). Les barres d'erreur indiquent l'écart type. Différence modérée entre des exercices en espace restreint à 5 contre 5 et le match (ES: $1,17 \pm 0,65$). # Indique une différence significative pour tous les types d'exercices.	37
Figure 11. Tirée de Wik et coll. (2017) Pourcentage du PlayerLoad™/min moyen sur 5 minutes ($\pm 90\%$ intervalle de confiance) pour des joueuses avec au moins 2 périodes de jeu consécutives de 5 minutes, pour chacune des positions (arrière, ailier et pivot).....	38
Figure 12. Tirée de Clemente et coll. (2018) Comparaison entre l'équipe portugaise et néerlandaise selon les journées post et pré match (MD+ et MD-, respectivement). Vitesse moyenne de déplacement, vitesse maximale, PlayerLoad™ et nombre de sprints effectués entre les deux équipes et les jours de la semaine. *Différence significative entre les équipes $p < 0,05$).....	44
Figure 13. Tirée de Stevens et coll. (2017). Charge d'entraînement estimée des joueurs réguliers et des non-partants, exprimée en pourcentage des valeurs correspondant aux moyennes de matchs.....	46
Figure 14. Tirée de Stevens et coll. (2017). Charge d'entraînement hebdomadaire cumulative d'une semaine typique avec 1 match et précédé de 4 sessions d'entraînement (MD-4, MD-3, MD-2 et MD-1) selon les différentes variables.....	47
Figure 15. Exemple de charge hebdomadaire cumulative exprimée en nombre de matchs par semaine et par joueur (numérotés de 1 à 20) pour la période de septembre à fin décembre. Les colonnes rouges représentent le nombre de matchs joués par les joueurs et les colonnes bleues le nombre de matchs cumulés avec les entraînements de la semaine, Les lignes horizontales bleues représentent la moyenne individuelle et les lignes horizontales hachurées en rouges représentent l'écart-type individuel.	72
Figure 16. Pourcentages estimés des entraînements réguliers, en gris pâle, et des entraînements le jour de match, en gris foncé, relatifs aux valeurs de matchs (saison 2017-18). EEPM (<i>Explosive Efforts Per Minute</i>) = Nombre d'efforts explosifs par minutes, LIE (<i>Low</i>	

Intensity Efforts) = Efforts de faible intensité, MIE (*Medium Intensity Efforts*) = Efforts de moyenne intensité, ATOI (*Active Time On Ice*) = Temps actif sur la glace, TSC (*Total Stride Count*) = Nombre total de foulées, TEE (*Total Explosive Efforts*) = Nombre total d'efforts explosifs, HIE (*High Intensity Efforts*) = efforts de haute intensité. 77

Liste des sigles

ATOI : *Active Time on Ice*

CV : Coefficient de variation

EEPM : *Explosive Efforts per Minute*

FC : Fréquence Cardiaque

GPS : *Global Positioning System*

HIE : *High Intensity Efforts*

IMU : *Inertial Measurement Unit*

LAH : Ligue Américaine de Hockey

LIE : *Low Intensity Efforts*

LNH : Ligue Nationale de Hockey

LPM : *Local Position Measurement*

LPS : *Local Positioning System*

MD : *Match Day*

MEMS : *MicroElectroMechanical Systems*

MIE : *Medium Intensity Efforts*

OIL : *On-Ice Load*

OIL/min : *On-Ice Load per minute*

PL : *PlayerLoad™*

SCG : Système de Coordonnées Global

TEE : *Total Explosive Efforts*

TSC : *Total Stride Count*

UA : Unité Arbitraire

Remerciements

Je souhaite avant tout remercier mon directeur de mémoire Jonathan Tremblay pour le temps qu'il a consacré à m'apporter les connaissances et outils indispensables à la conduite de cette recherche. Son expérience et son souci du détail m'ont grandement stimulé. L'enseignement de qualité dispensé par le département de Kinésiologie a également su nourrir mes réflexions.

Je remercie en particulier Sylvain Lefebvre, Donald Dufresne, Nick Carrier et tout le groupe d'entraîneurs du Rocket de Laval de m'avoir donné l'occasion extraordinaire de réaliser la cueillette de données tout au long de la saison 2017-18. Leur accueil et leur bonne humeur m'ont beaucoup aidé à m'intégrer dans leur environnement. Un grand merci également à l'équipe médicale, technique et de préparation physique pour leur aide précieuse.

Je suis également reconnaissant envers les 50 joueurs de l'équipe du Rocket de Laval qui ont participé à cette recherche, je les remercie pour leur collaboration et leur patience tout au long de la saison malgré les longs voyages et les matchs difficiles à l'occasion. Même s'ils ne devaient pas toujours avoir envie de porter la veste, ils ont agi avec beaucoup de professionnalisme et je les en remercie. Je tiens à souligner la participation de Romain Martinez et de Simon Deguire à la rédaction de l'article ainsi qu'à remercier Patrick Delisle-Houde pour ses commentaires très constructifs.

J'aimerais exprimer ma gratitude envers le Club de Hockey Canadien, spécialement Geoff Molson et Marc Bergevin, qui m'ont permis de faire des études supérieures tout en occupant mes fonctions dans l'organisation. Leur soutien m'a grandement motivé à mener ce projet à terme.

Enfin, un grand merci à ma conjointe qui m'a offert un appui inestimable tout au long de mon parcours.

Introduction

La pratique compétitive du hockey sur glace impose d'importants stress physiques sur les joueurs, tant au niveau amateur que professionnel. Avec un calendrier chargé qui implique des matchs, des séances d'entraînement sur glace et de la préparation physique hors glace, les entraîneurs et athlètes doivent habilement jongler avec la fatigue, la récupération, les blessures et les enjeux de performance. D'autres sports collectifs comme le soccer, le rugby et le football australien utilisent présentement des méthodes de suivi qui ont été mises en place pour surveiller l'évolution de la charge externe, qui représente la quantité de travail effectué par les joueurs, au cours de la saison (Colby, Dawson, Heasman, Rogalski, & Gabbett, 2014; B. R. Scott, Lockie, Knight, Clark, & Janse de Jonge, 2013; M. T. U. Scott, Scott, & Kelly, 2016). En utilisant des outils technologiques tels que les centrales inertielles, plusieurs sports collectifs extérieurs et intérieurs sont en mesure de recueillir de l'information sur les charges externes des athlètes en situation de compétition ou d'entraînement et ainsi mieux comprendre les exigences de leur sport pour gérer plus adéquatement la charge imposée chaque jour aux athlètes (Akenhead, Harley, & Tweddle, 2016; Clemente et al., 2018; P. G. Montgomery, Pyne, & Minahan, 2010; Stevens, de Ruiter, Twisk, Savelsbergh, & Beek, 2017; Stevens et al., 2014).

Mon étude expérimentale débute dans un premier temps avec une revue de littérature qui a pour but de comprendre l'évolution du hockey sur glace moderne. Afin de tracer un portrait de la tâche du joueur de hockey, il est en effet important d'expliquer les changements morphologiques du joueur au cours des dernières décennies et de décrire l'impact de ces changements selon la

position du joueur. Dans ce même ordre d'idées, je chercherai à montrer quels sont les impacts du changement du temps de jeu moyen des joueurs sur le tempo d'un match de hockey. Dans un deuxième temps, je détaillerai les différentes méthodes de suivi de la charge externe, avec l'arrivée de nouvelles technologies telles que les centrales inertielles, ainsi que les défis associés à leur mise en place au sein d'une équipe sportive professionnelle. Afin d'utiliser l'accélérométrie dans mon étude pour faire le suivi d'une équipe professionnelle de hockey sur glace, je détaillerai les études qui ont été effectuées sur des sports intérieurs et qui ont cherché à montrer la validité et la fiabilité des centrales inertielles dans un contexte de sport intermittent avec changements de direction. Finalement, à partir d'études ayant comme sujet le suivi longitudinal de la charge externe au sein d'équipes sportives professionnelles, je présenterai les principales observations rapportées par les auteurs ainsi que les contraintes et défis nommés en ce qui concerne la mise en place d'un tel suivi.

Mon étude cherche à décrire, en utilisant l'accélérométrie, la charge externe lors d'entraînement et de matchs de hockey sur glace professionnels afin de voir s'il y a une différence selon la position du joueur. Une fois l'analyse de match effectuée, je chercherai à répondre aux questions suivantes: (1) Quelles sont les charges et les intensités moyennes relatives à un match lors des entraînements et quels impacts ont la journée d'entraînement précédant le match et la position du joueur sur ces valeurs? (2) Quelles sont les variations de la charge externe, toujours selon la position du joueur, au cours de la saison régulière?

Chapitre 1: Analyse de la tâche du joueur de hockey sur glace

1.1 Évolution du sport

Le hockey sur glace a beaucoup évolué au cours du dernier siècle, tant dans les exigences et les spécificités du jeu qu'au niveau de l'encadrement des joueurs. Afin de présenter l'évolution de l'analyse de la tâche dans son ensemble, il est important de retourner aux racines mêmes du hockey moderne pour observer l'évolution et les changements auxquels ce sport a dû faire face au fil des décennies jusqu'à aujourd'hui.

Il faut remonter jusqu'au 3 mars 1875 pour voir le premier match de hockey intérieur organisé (Guay, 1989). Ce match fut disputé au Victoria Skating Rink, à Montréal. Le match oppose alors deux équipes composées chacune de neuf joueurs et d'un gardien de but; un seul arbitre dirige le match et la rondelle est en bois. Le temps de jeu est limité à 60 minutes, le score est noté et le match est joué selon des règles sur lesquelles les protagonistes se sont mis d'accord. Selon plusieurs, ce match marque les débuts de l'ère moderne du hockey sur glace. Il a fallu par la suite plusieurs années avant que le hockey sur glace ne se structure réellement et que la Ligue nationale de hockey (LNH) voie le jour, en 1917. Bien qu'il y ait eu plusieurs changements à travers le temps, les dimensions d'une patinoire dans LNH doivent aujourd'hui être de 60 mètres de long sur 26 mètres de large. Chaque équipe est composée d'un maximum de six joueurs (un gardien et cinq joueurs), évoluant sur la surface glacée en même temps. Les substitutions sont

indépendantes de l'arrêt du jeu. La durée du match est de 60 minutes et il est divisé en trois périodes de 20 minutes avec un temps de repos de 15 minutes entre les périodes (Données tirées du site www.nhl.com, en date du 15 décembre 2018).

Le calendrier des premières saisons de la LNH, à partir de ses débuts en 1917, n'est que de 22 matchs et la ligue n'est constituée que de quatre équipes: les Canadiens de Montréal, les Wanderers de Montréal, les Sénateurs d'Ottawa et les Arenas de Toronto. Les équipes peuvent habiller un maximum de 12 joueurs pour chaque partie à partir d'une liste d'au plus 14 joueurs. Il n'était pas rare, au tout début, de voir les joueurs passer plusieurs minutes sur la glace, les permutations de joueurs étant peu fréquentes. Cela ralentissait passablement le jeu, principalement dû au fait que les joueurs étaient épuisés. Au fil des années, le nombre de parties a progressivement augmenté pour atteindre 70 matchs lors de la saison 1949-50. La LNH est alors composée de six équipes et chacune d'elle est autorisée à habiller 17 joueurs par match, à l'exclusion des gardiens de but. Après une série de plusieurs expansions entre 1967 et 2017 (voir figure 1), la LNH est passée de 12 à 31 équipes et à une saison de 82 matchs (voir figure 2). Le nombre de joueurs en uniforme est maintenant de 20, soit 18 joueurs et deux gardiens de but. À noter aussi que le nombre maximum de joueurs sur une liste d'équipe de la LNH est de 23.

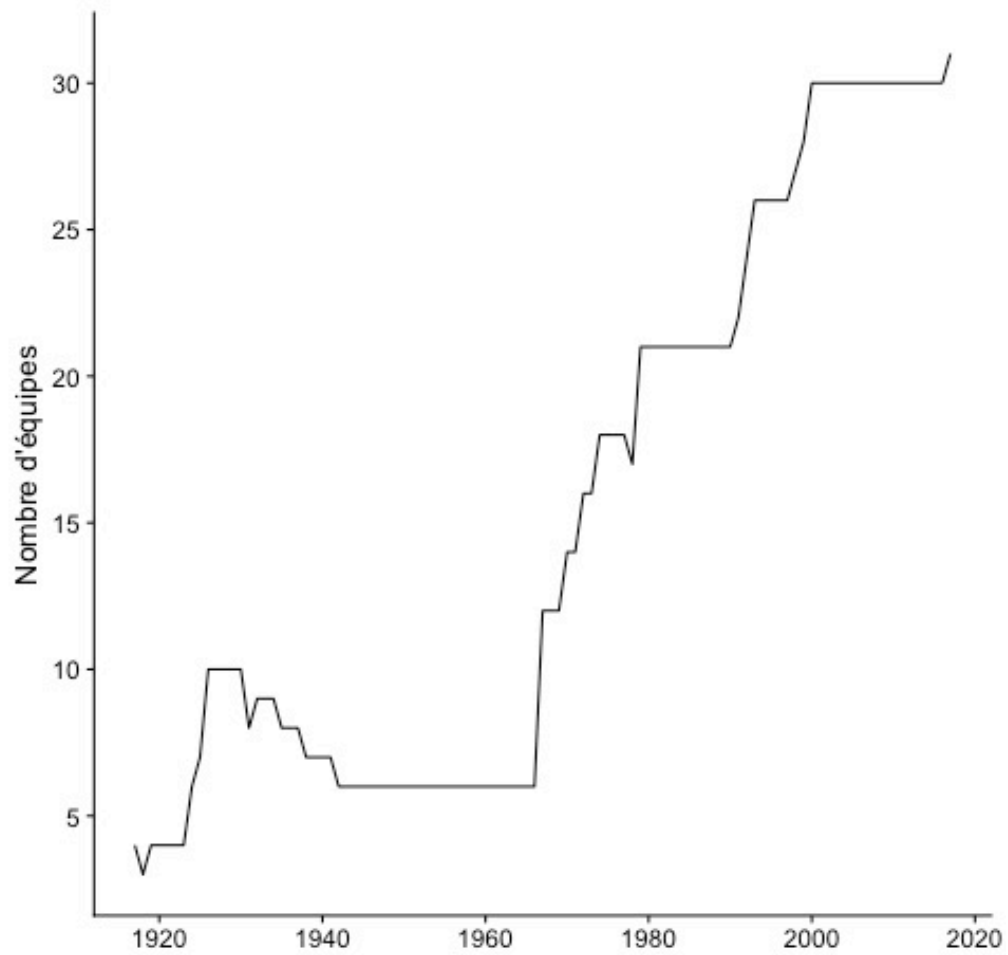


Figure 1. Tirée du guide officiel et registre de la LNH (2017), page 145. Expansion de la Ligue Nationale de Hockey (LNH) entre 1917 et 2017, par le nombre d'équipes en faisant partie.

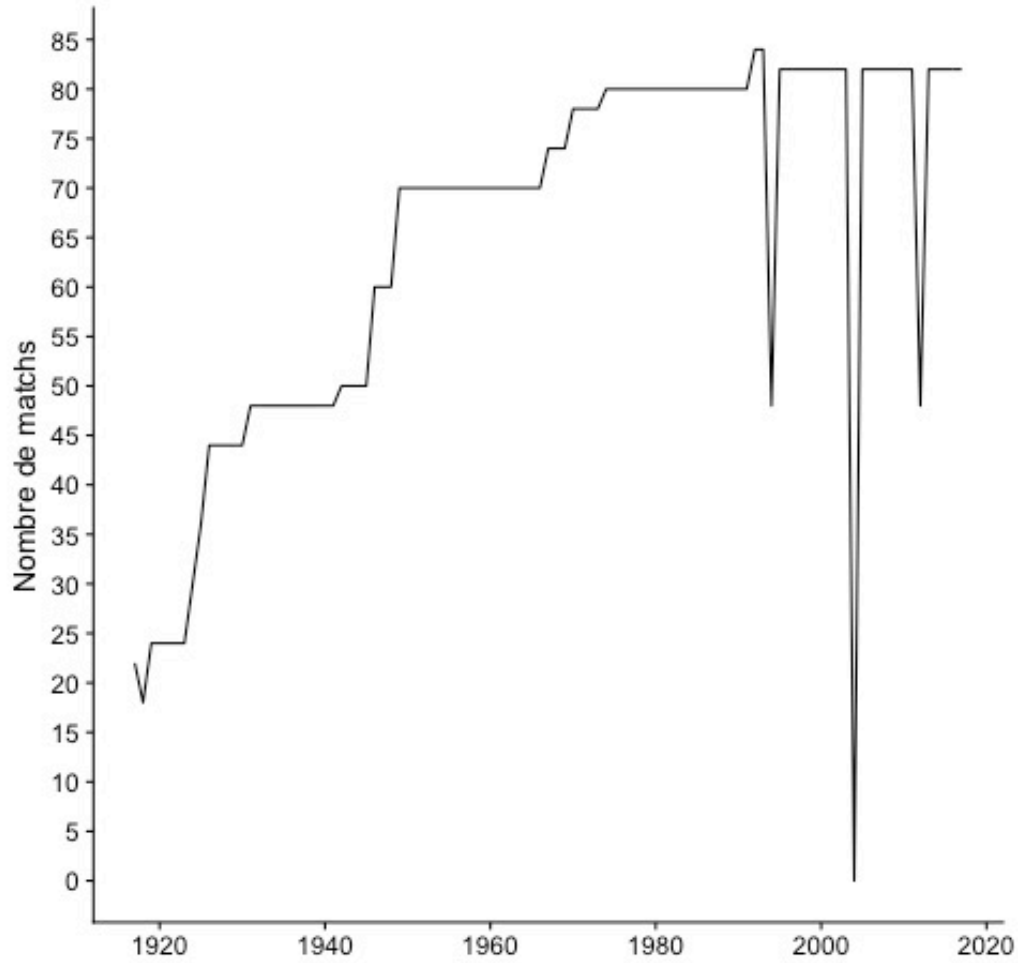


Figure 2. Tirée du guide officiel et registre de la LNH (2017), page 145. Nombre de matchs joués par saison entre 1917 et 2017, incluant les trois conflits de travail (« lockouts ») dans l’histoire de la LNH : les saisons 1993-94 et 2012-13 ont été écourtées à 48 matchs, tandis que la saison 2004-05 fut annulée en sa totalité.

1.2 Caractéristiques du jeu et des joueurs de hockey sur glace

Malgré le fait que le hockey sur glace soit maintenant devenu un sport professionnel avec une grande popularité, particulièrement en Amérique du Nord, en Scandinavie et en Russie, il a été relativement peu étudié par les chercheurs. En effet, une recherche en date du premier décembre 2018 sur la librairie nationale de médecine américaine (PubMed), rapporte un total de 1074 publications contenant le terme « ice hockey », la première répertoriée datant de 1958 (voir figure 3). Les premiers travaux portaient principalement sur les blessures au hockey (Janes, 1962) et sur l'équipement de protection des joueurs (Kraus, Anderson, & Mueller, 1970). C'est vers la fin des années 1960 que les chercheurs se sont intéressés à la performance des joueurs. Ferguson et coll. (1969) furent les premiers à développer un test de consommation maximale d'oxygène à l'effort sur la glace, test qui consiste à patiner sur une piste de 140 mètres autour de la patinoire pendant 3 minutes à des vitesses progressives de 350, 382, 401, 421 et 443 m/min, intercalés par un repos de 5 minutes entre les paliers. Pour mesurer la consommation d'oxygène, les chercheurs utilisent un appareil de collecte de gaz en circuit ouvert (voir figure 4) qu'ils placent sur le dos des 17 joueurs de niveau universitaire évoluant pour l'équipe de l'Université de Montréal. Ferguson et coll. (1969) obtiennent un coefficient de corrélation de 0.94 lors de test-retest et estiment le VO_{2max} moyen d'un joueur collégial à $55,0 \pm 5,5$ ml/kg/min.

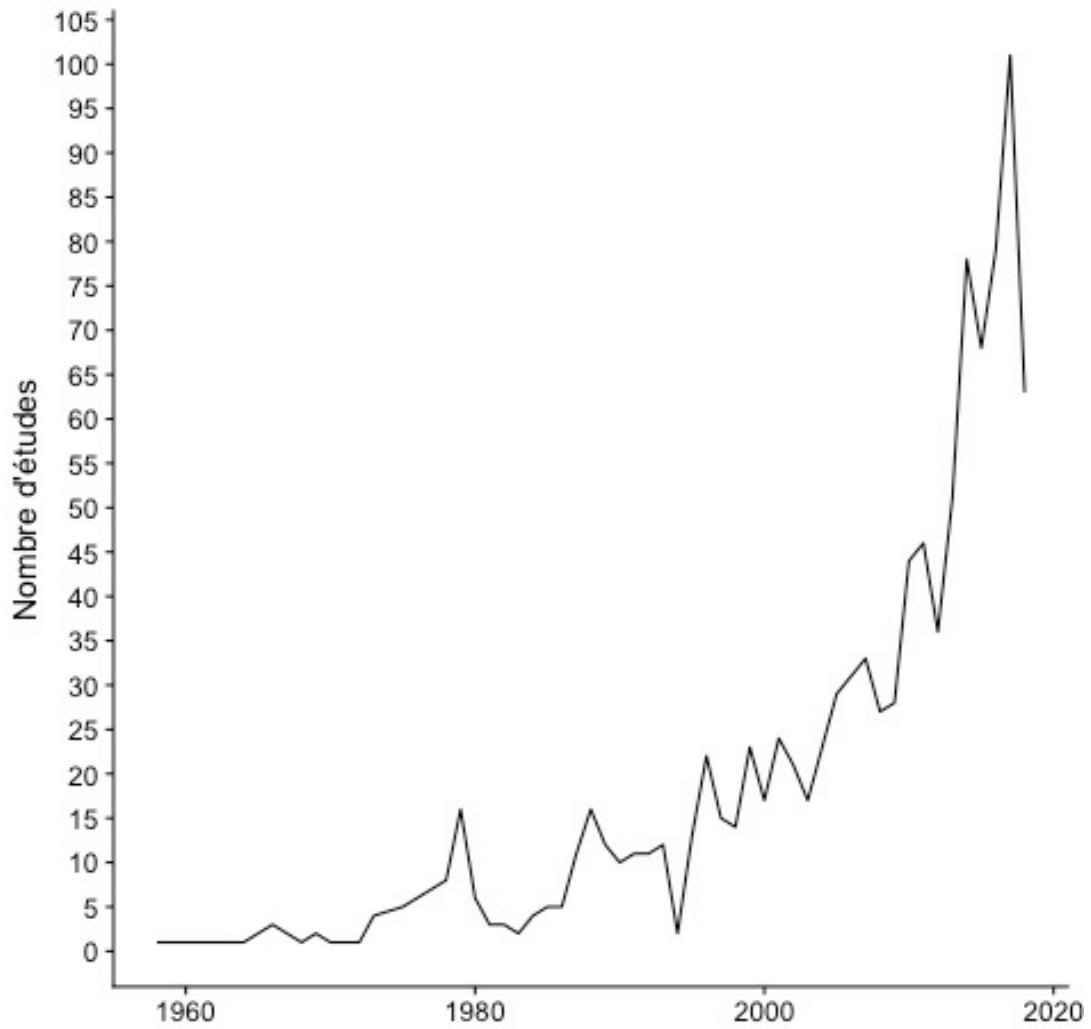


Figure 3. Tirée de la librairie nationale de médecine américaine (PubMed), en date du 1er décembre 2018. Nombre d'études contenant le terme « ice hockey » entre 1958 et 2018.

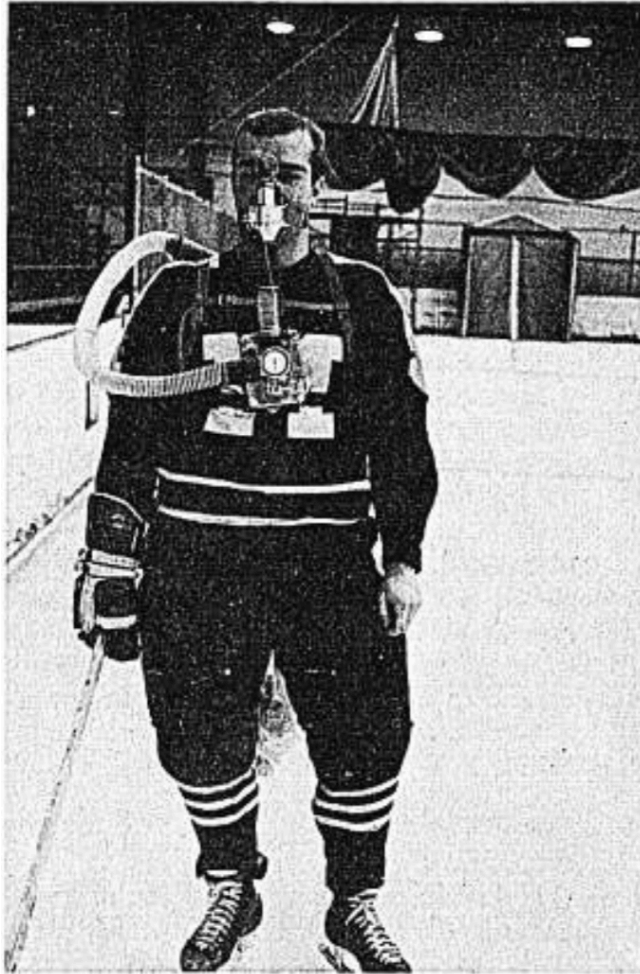


Figure 4. Tirée de Ferguson et coll. (1969). Appareillage utilisé pour analyser les gaz expirés, placé sur le dos des joueurs et relié au masque sur le visage pour la collecte des gaz lors de l'épreuve d'effort sur glace.

Seliger et coll. (1972) ont ensuite fait le suivi de 13 joueurs et un gardien de but de l'équipe nationale de Tchécoslovaquie. Lors du camp d'entraînement, les joueurs ont effectué six présences sur la glace d'approximativement une minute entrecoupées de trois minutes de repos sur le banc; à la suite de la dernière présence, les joueurs ont eu un repos de 21 minutes. Pour ce qui est du gardien de but, il a effectué 30 minutes de jeu consécutives, suivies de 16 minutes de repos. Le gaz expiré a été recueilli avec l'aide de sac de Douglas immédiatement après la dernière présence sur la glace, ainsi qu'après la période de repos. La mesure des échanges gazeux, l'estimation de la dépense énergétique et la fréquence cardiaque (FC) ont été par la suite analysées. Les auteurs ont estimé la consommation d'oxygène moyenne (VO_2) sur la glace lors de la dernière présence à $36,9 \pm 4,5$ ml/kg/min et la FC à $152,2 \pm 15,9$ bpm. Pour le suivi durant la saison, les joueurs ont effectué un test progressif sur ergocycle à la mi-saison et juste avant le Championnat du monde. Les auteurs ont estimé le (VO_2) max des joueurs à $54,6 \pm 5,3$ et $50,2 \pm 3,1$ ml/kg/min, la FC max à $185,1 \pm 8,7$ et $183,4 \pm 7,3$ bpm, à la mi-saison et avant le Championnat du monde respectivement. Selon les chercheurs, la durée relativement courte des présences sur la glace fait en sorte que la FC en action n'atteint pas ses valeurs maximales et la récupération lente lorsque le joueur récupère sur le banc indique une plus grande participation du métabolisme anaérobie.

En 1972 s'est tenue la série du siècle, qui opposa la Russie au Canada. La Russie avait dominé le Canada sur le plan physique et collectif. Le Canada a remporté la série de huit matchs de justesse, malgré le fait qu'il était considéré favori pour l'emporter (Soares, 2007). Après cette série du siècle, les chercheurs se sont de plus en plus intéressés à l'analyse de la tâche du hockeyeur et à la physiologie du hockey sur glace. Léger (1975) rapporte la contribution des

différents systèmes énergétiques sollicités lors d'un match de hockey sur glace de niveau midjet à universitaire, estimée à partir des temps d'effort et de récupération. Avec sa description de la tâche du hockeyeur, il souligne, entre autres, qu'afin d'augmenter le niveau et l'intensité du jeu, les présences sur la glace devraient être plus courtes et que les temps de repos entre les présences devraient être d'au moins deux minutes. Au début des années 70, la durée des présences sur la glace peut varier de 1 à 2 minutes et Léger (1975) suggère de limiter les présences sur la glace entre 30 et 90 secondes. Toujours selon les travaux de Léger (1975; 1980), la contribution aérobie est estimée à environ 45 % lors d'une présence sur la glace. Si l'on ajoute les temps de repos sur le banc entre les efforts, la contribution aérobie totale s'élève alors à près de 88 %. Ces travaux ont grandement contribué, encore aujourd'hui, à attribuer de l'importance à l'entraînement aérobie chez les joueurs de hockey. Chez les joueurs professionnels, un $VO_2\text{max}$ moyen est de $56,0 \pm 4,1$ ml/kg/min selon les données rapportées par David L. Montgomery (2006), qui a testé l'ensemble de l'équipe du Canadien de Montréal entre les années 1992 à 2003.

L'importance de la contribution anaérobie est quant à elle estimée à 55 % de l'énergie totale d'une présence sur la glace. Cette importance vient du fait que les actions déterminantes semblent exploiter surtout ce système de production d'énergie. Les conclusions de Léger (1975; 1980), marquent un pas considérable en ce qui a trait à la gestion des présences sur la glace et aux qualités importantes à développer chez le joueur. Le jeu se structure progressivement, les changements de joueurs sur la glace se font plus fréquemment et l'intensité des présences sur glace augmente, ce qui contribue grandement à accélérer le rythme des matchs.

1.2.1 Évolution des mesures anthropométriques des joueurs

Au cours des années 90, Cox et coll. (1995) font état de changements importants dans le poids, la taille et la condition physique des joueurs selon leur position. Cette différence entre les positions serait liée en partie aux critères de sélection imposés par les sélectionneurs (défenseurs de plus grande taille et plus massifs que les attaquants). Par exemple, Montgomery (2006) rapporte les changements de la masse et de la taille des joueurs du Canadien de Montréal au cours de la période s'échelonnant de 1917 à 2003. Durant cette période, la masse moyenne des joueurs est passé de 75 à 92 kg (23 % ; voir figure 5) et la taille moyenne est passée de 175 à 185 cm (voir figure 6). Toujours selon Montgomery (2006), le gain de masse lors de cette période de 86 ans serait expliqué en partie par l'augmentation de la taille moyenne des joueurs. Pour ce qui est de la capacité aérobie ($VO_2\text{max}$) des joueurs, elle serait passée de 52 à 63 ml/kg/min, ce qui signifie une importante amélioration de la capacité aérobie des joueurs sur cette période, considérant le gain de masse concomitant. Au-delà du fait que la majorité des chercheurs remarquent une différence entre la position des joueurs et leur gabarit, on observe néanmoins un changement des dimensions physiques des joueurs, en parallèle avec des exigences de jeu plus élevées, et ce, indépendamment de la position. Les modifications aux règles du jeu qui ont suivi le conflit de travail de la saison 2004-05, soit principalement le renforcement des règles concernant l'accrochage et les bagarres, l'abolition du hors-jeu de deux lignes en zone centrale ainsi que l'obligation de garder les mêmes joueurs sur la glace lors d'un dégagement interdit (les règles de la LNH) ont également contribué à accélérer le jeu et ont favorisé les joueurs plus rapides, plus talentueux et de plus petits gabarits (Depken, Groothuis, & Strazicich, 2018). Depuis la saison 2005-06, à l'exception de la position de gardien de but, il

Il y a une tendance à la baisse de la masse (voir figure 7) et de la taille (voir figure 8) des joueurs qui composent les équipes de la LNH.

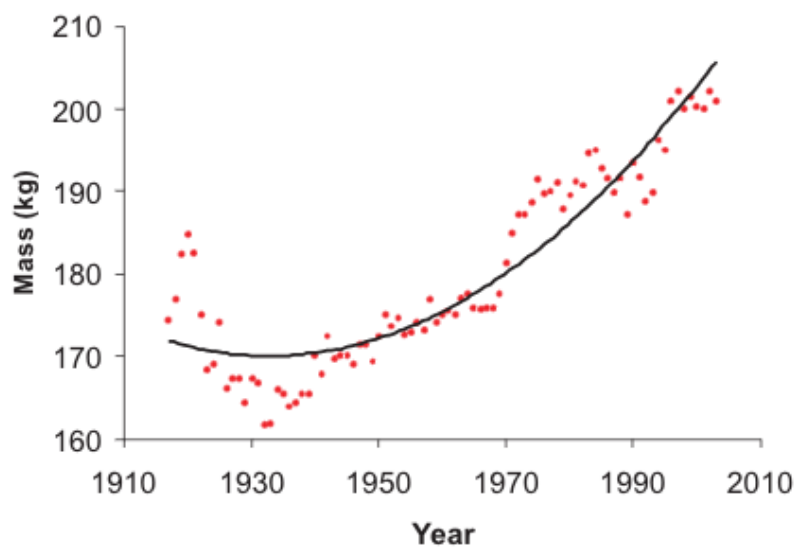


Figure 5. Tirée de Montgomery (2006). Évolution de la masse corporelle moyenne (kg) des joueurs du Canadien de Montréal, entre 1917 et 2003. Une erreur semble s'être glissée dans la figure et la masse des joueurs devrait être en livres (lbs) et non en kilogrammes (kg).

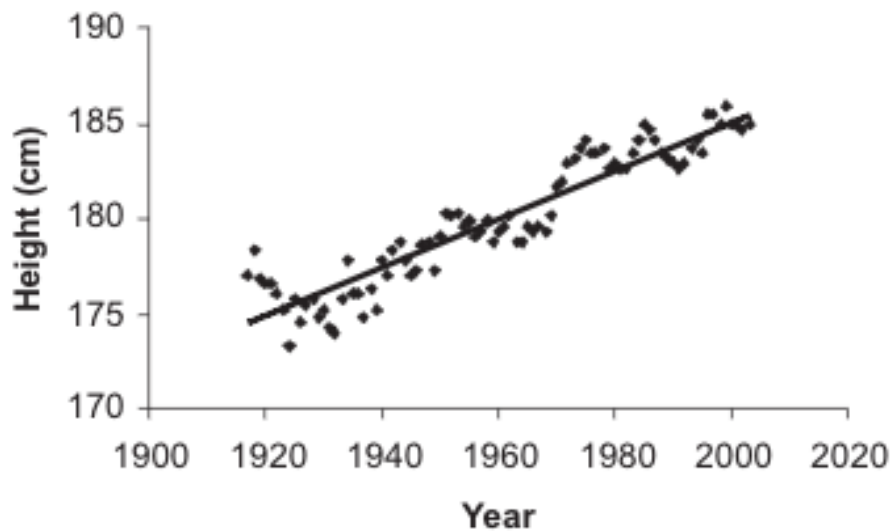


Figure 6. Tirée de Montgomery (2006). Évolution de la taille moyenne (cm) des joueurs du Canadien de Montréal, entre 1917 et 2003.

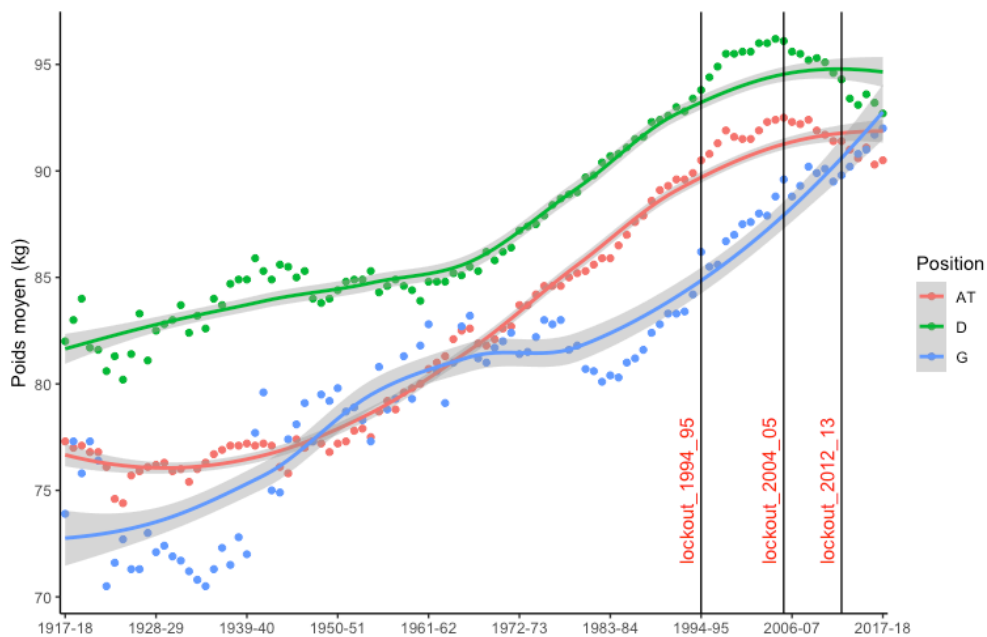


Figure 7. Tirée du site web www.hockey-reference.com, le 15 décembre 2018. Évolution de la masse corporelle moyenne des joueurs dans la LNH entre 1918 et 2018.

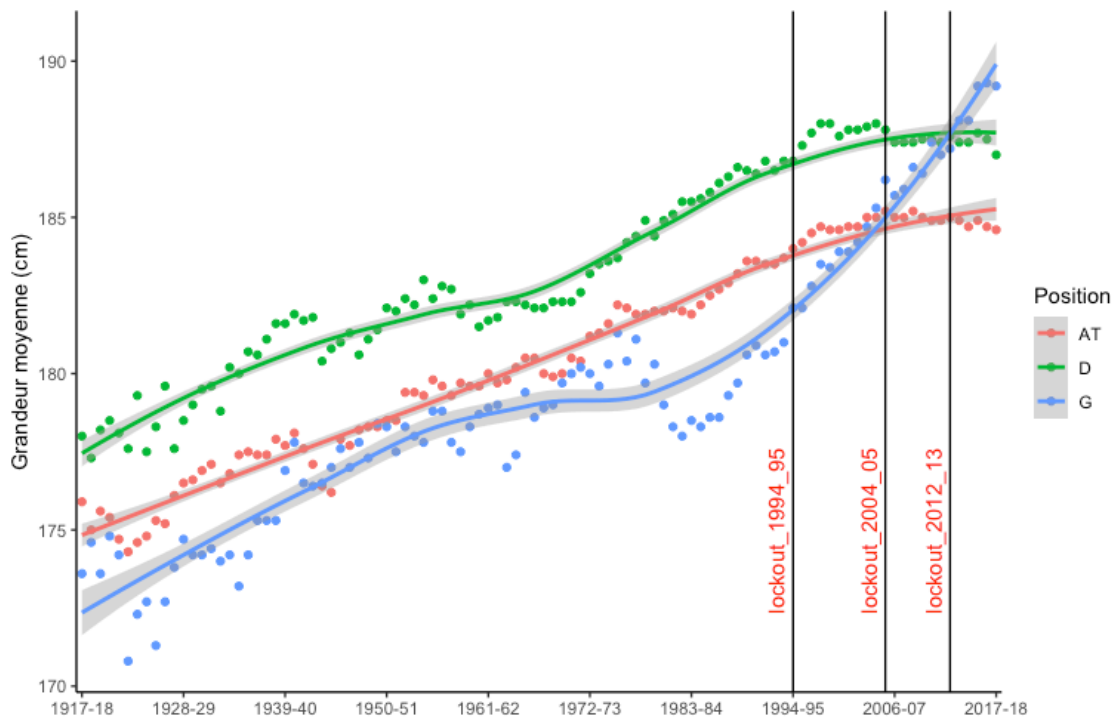


Figure 8. Tirée du site www.hockey-reference.com, le 15 décembre 2018. Évolution de la taille moyenne dans la LNH, entre 1918 et 2018.

1.2.2 Premières mesures des exigences de la pratique du hockey sur glace

À la suite de la description de tâche du hockeyeur de Léger (1975), Green et coll. (1976) observent à leur tour une différence entre le temps de jeu total et le nombre de présences sur la glace selon la position des joueurs. Ainsi, 8 joueurs de niveau universitaire sont filmés lors d'un ou deux matchs locaux à l'université de Waterloo. À partir des analyses vidéo, les chercheurs remarquent que les temps de jeu moyens varient entre $20,8 \pm 1,6$, $23,4 \pm 4,7$ et $28,0 \pm 4,4$ minutes pour les joueurs de centre, les ailiers et les défenseurs respectivement. Quant à la durée moyenne de présence sur la glace, elle varie entre $87,6 \pm 19,4$, $88,1 \pm 10,6$ et $81,4 \pm 5,2$ secondes pour les joueurs de centre, les ailiers et les défenseurs respectivement (voir tableau I). Les défenseurs jouent 21,2 % plus que les attaquants en raison d'un nombre plus élevé de présences sur la glace, soit 26,1 % de plus, et d'un temps de repos plus court de 37,1 % entre les présences. Ils remarquent également une différence notable entre l'intensité des présences sur la glace et la position du joueur. Ils estiment la vitesse moyenne d'une présence sur la glace d'un défenseur à 61,1 % de celle d'un attaquant. En plus de l'analyse vidéo, les joueurs ont préalablement participé à une batterie de tests physique, doivent porter des électrodes sur eux lors des matchs filmés et subissent des prélèvements d'échantillons sanguins après chacune des périodes. Les auteurs notent que le jeu physique et la sudation des joueurs font en sorte que les électrodes ont du mal à adhérer sur la peau.

Period	Position*	N	Actual Play- ing Time, s	No. of Shifts	Playing Time/ Shift, s	Play Stop- pages/Shift	Playing Time Between Stop- page, s	Time for Play Stoppage, s	Recovery Time Between Shifts, s	Velocity/Shift, m/min	Heart Rate/ Shift, beats/ min
1	C	2	385 ±70†	4.5 ±0.5	88.3 ±25.5	2.2 ±0.4	43.7 ±18.2	25.4 ±1.6	234 ±20	273 ±11	174 ±6.3§
	W	5	387 ±49	5.5 ±0.3	69.8 ±6.3	2.1 ±0.1	33.0 ±2.6	19.7 ±1.6	245 ±27	248 ±11	
	D	3	583 ±50	6.7 ±0.3	87.3 ±4.4	2.3 ±0.3	38.7 ±3.9	30.0 ±3.6	190 ±27	160 ±3	
	\bar{x}	10	445 ±39†	5.8 ±0.3	78.7 ±5.6	2.2 ±0.1	37.6 ±3.5	24.6 ±1.8	220 ±16	229 ±16	
2	C	2	403 ±36	5.0 ±1.0	82.4 ±9.5	2.3 ±0.8	42.8 ±18.5	25.7 ±8.2	282 ±67	300 ±1	171 ±7.4
	W	5	463 ±47	5.3 ±0.5	88.2 ±4.6	2.3 ±0.1	39.7 ±4.3	26.0 ±1.8	258 ±35	255 ±16	
	D	3	568 ±20	7.3 ±0.3	77.9 ±5.0	1.9 ±0.1	41.0 ±2.3	28.5 ±6.4	135 ±11	146 ±14	
	\bar{x}	10	481 ±29	5.8 ±0.4	84.0 ±3.1	2.3 ±0.2	39.0 ±3.8	26.7 ±2.2	227 ±27	234 ±31	
3	C	2	460 ±32	5.0 ±0.0	92.0 ±6.5	2.3 ±0.3	41.1 ±8.2	25.9 ±1.1	359 ±14	253 ±3	174 ±2.4
	W	5	550 ±42	5.3 ±0.4	106.0 ±7.9	2.1 ±0.1	50.4 ±3.2	31.9 ±3.6	239 ±67	227 ±17	
	D	3	531 ±86	6.7 ±0.9	78.9 ±4.2	2.6 ±0.5	33.4 ±8.7	27.7 ±4.2	151 ±30	173 ±9	
	\bar{x}	10	534 ±33	5.8 ±0.4	93.4 ±5.2	2.3 ±0.2	42.6 ±3.7	30.0 ±2.0	228 ±13	217 ±13	
Combined	C	2	1247 ±93	14.5 ±2.1	87.6 ±19.4	2.3 ±0.7	42.5 ±21.7	25.7 ±6.5	291 ±24	276 ±17	173 ±5.4
	W	5	1403 ±283	16.0 ±2.2	88.1 ±10.6	2.2 ±0.2	41.0 ±4.4	25.8 ±3.0	248 ±93	243 ±29	
	D	3	1682 ±261	20.7 ±2.3	81.4 ±5.2	2.3 ±0.4	37.5 ±4.4	28.7 ±7.7	159 ±39	160 ±7	
	\bar{x}	10	1471 ±84	17.4 ±1.0	85.4 ±3.1	2.3 ±1.0	39.7 ±2.6	27.1 ±1.4	225 ±25	227 ±16	

*C = center; W = wing; D = defense. *Values are $\bar{x} \pm SE$. †Values represent weighted mean. §Values based on data obtained for six games.

Tableau I. Tiré de Green et coll. (1976). Analyse notationnelle des moyennes par position, par période, et pour l'ensemble d'un match de niveau universitaire pour le temps de jeu (s), le nombre de présences sur la glace, le temps de jeu par présence (s), le nombre d'arrêts de jeu par présence, le temps de jeu entre les arrêts (s), la durée des arrêts de jeu (s), le temps de repos au banc entre les présences (s), la vitesse par présence (m/min) et la fréquence cardiaque par présence (bpm).

Dans une deuxième étude, Green et coll. (1978) se penchent un peu plus sur l'épuisement des réserves de glycogène dans les muscles et sur les variations de la lactatémie lors des matchs. Chacun des 8 joueurs qui ont participé à l'étude doit fournir des échantillons de sang avant le match et après chaque période, ainsi que des prélèvements de tissus musculaires (biopsies) pré et post-matchs. Les auteurs concluent qu'il est possible que la capacité aérobie des joueurs puisse avoir un rôle sur le niveau d'épuisement des réserves de glycogène musculaire. Par contre, les recherches de Green et coll. (1978) demeurent très invasives et très difficiles à mettre en place dans un contexte de suivi d'équipe.

Dans la continuité des travaux de Ferguson et coll. (1969), Selinger et coll.(1972), Léger (1975; 1980) et Green et coll. (1976; 1978; 1975), Montgomery (1988) a quant à lui fait une revue de littérature exhaustive des exigences physiques du hockey sur glace. Dans un premier temps, il y décrit le hockey sur glace comme étant caractérisé par des actions intermittentes de hautes intensités, de nombreuses accélérations et décélérations, marquées par des collisions fréquentes avec la bande et les adversaires. Le joueur typique a un temps de jeu qui se situe, en moyenne, entre 15 et 20 minutes lors d'une partie. Chacune des présences sur la glace dure entre 30 et 80 secondes, alternée avec quatre à cinq minutes de récupération sur le banc. Il est intéressant de noter que la durée des présences sur la glace est passée de 1 à 2 minutes au début des années 1970 à entre 30 et 80 secondes en 1988, ce qui va dans le sens des conclusions de Léger (1975; 1980).

L'intensité et la durée des présences sur la glace déterminent l'étendue de la contribution des systèmes énergétiques aérobie et anaérobie. Les foulées à haute intensité exigent que le joueur de hockey produise une grande force musculaire, puissance et endurance anaérobie. La durée du match et la nécessité de récupérer rapidement entre chacun des changements de joueurs requièrent une bonne capacité aérobie afin de maintenir l'intensité tout au long du match. Toujours selon Léger (1980) et Montgomery (1988), le fait de jouer deux à trois matchs par semaine ne semble pas être suffisant pour améliorer le (VO_2max), qui varie peu au cours d'une saison. Selon Montgomery (1988), la capacité anaérobie, quant à elle, augmenterait au cours d'une saison principalement en raison du grand nombre d'entraînements sur glace qui sollicitent ce système énergétique de manière répétée.

Montgomery et coll. (2004), dans le cadre d'une conférence portant sur la sécurité au hockey sur glace, font une analyse détaillée des tâches lors de matchs de hockey de la LNH. Lors de neuf matchs locaux du Canadien de Montréal, trois caméras sont utilisées pour filmer les matchs: une caméra suit la rondelle, tandis que les deux autres sont fixées au plafond de l'amphithéâtre de sorte que chacune puisse couvrir la moitié de la surface glacée. Au total, 62 défenseurs (D), 74 ailiers (W), 44 centres (C) et 10 gardiens (G) ont été filmés lors des matchs. Les fréquences de départs, d'arrêts, de croisements, de virages brusques et de changements de direction ont été enregistrées, ainsi que le temps total en patinage avant et arrière (voir tableau II et III). Les actions des défenseurs et attaquants ont été comptabilisées pour les variables de mise en échec (le long des rampes et au centre de la glace) (voir tableau IV), de tir (frappé, du poignet, du revers, et semi-frappé), de passe (coup droit, revers, balayé et semi-frappé) et de réception de passe (coup droit, revers). Pour les gardiens de but, seules les passes et réceptions

de passes ont été comptabilisées. En résumé, les résultats ont montré que les actions de patinage des attaquants et des défenseurs étaient différentes, les défenseurs passant en moyenne 19,2 % du temps en patin arrière, alors qu'il s'agit de 4,8 et 5,7 % pour les attaquants, les centres et les ailiers respectivement. Les joueurs ont des présences sur la glace moyennes entre 43 et 48 secondes, dépendamment de la position. Les joueurs les plus actifs totalisent en moyenne entre 25 à 28 contacts par match, qui incluent les batailles le long des rampes et les mises en échec reçues et données.

Movement	Centers	Wingers	Defense
Skating (s)	915.4	779.4	904.1
Starts (#)	61.4	56.1	64.7
Stops (#)	39.6	35.3	43.4
Crossovers (#)	73.1	62.2	54.6
Sharp Turns (#)	60.4	49.7	46.2
Forward-Backwards Turns (#)	23.5	23.8	60.8
Skating Movements (#)	258	227	270

Tableau II. Tiré de Montgomery et coll. (2004). Durée et nombre d'efforts en patinage avant, par position, lors de 10 matchs de la LNH.

Movement	Centers	Wingers	Defense
Skating (s)	45.8	47.5	215.3
Skating (%)	4.8	5.7	19.2
Backwards (#)	29.4	29.6	78.4
Starts (#)	6.4	5.9	18.4
Stops (#)	9.4	8.9	20.1
Crossovers (#)	6.3	7.1	42.1
Sharp Turns (#)	1.5	1.6	7.6
Backwards-Forwards Turns (#)	19.7	20.5	56.9
Skating Movements (#)	43	44	146

Tableau III. Tiré de Montgomery et coll. (2004). Durée et nombre d'efforts en patinage arrière, par position, lors de 10 matchs de la LNH.

Movement	Centers	Wingers	Defense
Team Average			
Hits (#)	2.4	3.1	4.4
Battles along boards (#)	2.4	2.3	1.5
Getting Hit (#)	3.4	3.0	3.0
Most Active Player			
Hits (#)	9	13	16
Battles along boards (#)	9	8	4
Getting Hit (#)	7	7	5
Total (#)	25	28	25

Tableau IV. Tiré de Montgomery et coll. (2004). Nombre de contacts physiques, par position, lors de 10 matchs de la LNH. La variable mouvement est divisé en moyenne pour l'équipe et en moyenne pour les joueurs les plus actifs.

Plus récemment, à partir d'enregistrements vidéo lors d'un match de hockey de niveau international senior, Brocherie et coll. (2018) ont été en mesure de détailler les caractéristiques des présences sur la glace. Selon leur étude, un joueur effectue en moyenne $22,3 \pm 4,9$ présences sur la glace lors d'un match pour une moyenne de $16,1 \pm 3,6$ minutes de temps de jeu et les durées des présences sur la glace sont de $44,01 \pm 5,71$ secondes (voir tableau V). Il y a un contraste évident entre les conclusions de cette étude et celle de Green et coll. (1976). En l'espace de 40 ans, les présences sur la glace ont presque diminué de moitié; le temps de repos entre les présences est quant à lui passé de 225 ± 25 à 270 ± 92 secondes. Cette augmentation du temps de repos sur le banc est principalement due à l'augmentation du temps des arrêts de jeu, qui est passé de $25,7 \pm 6,5$ secondes à $41,7 \pm 4,1$ secondes, rapporté par Green et coll. (1976) et Brocherie et coll. (2018), respectivement. Par la suite, à partir d'analyse image par image de chacune des séquences de jeu, Brocherie et coll. (2018) ont pu déterminer le nombre d'actions en patinage avant ou arrière et à différentes intensités que les joueurs effectuent au cours d'un match (voir tableau VI). Ainsi, ils ont remarqué que les joueurs effectuent moins d'accélération à pleine vitesse en troisième période (3 ± 2 , comparativement à 6 ± 3 et 5 ± 3 accélérations, pour la première et deuxième période, respectivement).

Period	Effective playing time (min)	Number of shifts	Effective playing time per shift (s)	Stoppage time (s)	Bench time (min)
1	5.7±0.8	7.4±1.0	46.81±4.76	39.24±4.07	3.7±0.5
2	5.0±1.1	7.2±1.8	41.76±5.06	42.41±3.00	4.4±1.5
3	5.4±1.8	7.7±2.4	43.47±6.71	43.48±4.21	5.5±2.0*
Mean	5.4±1.2	7.4±1.8	44.01±5.71	41.71±4.07	4.5±1.6
Total	16.1±3.6	22.3±4.9	132.04±10.45	125.13±22.64	13.5±3.8

Mean ± SD. * (P<0.05), significantly different from period 1.

Tableau V. Tiré de Brocherie et coll. (2018). Caractéristiques des présences sur la glace par période lors d'un match de hockey de niveau international. Moyenne par période et pour l'ensemble du match pour les variables de temps de jeu (en minutes), nombre de présences sur la glace, temps de jeu par présence (en secondes), durée des arrêts de jeu (en secondes) et temps de repos au banc entre les présences (en minutes).

Period	Low-intensity activities				High-intensity activities		
	Standing	Gliding	Slow forward	Slow backward	Fast forward	Forward sprint	Fast backward and sprint
Frequency (n)							
1	13±5	13±4	19±3	7±4	10±3	6±3	4±2
2	12±5	16±5	18±6	6±5	11±6	5±3	4±3
3	17±8#	15±8	20±8	6±7	11±4	3±2**,#	2±2
Mean duration (s)							
1	18.81±7.94	15.98±6.09	32.06±7.64	8.21±5.75	10.67±3.61	7.78±5.51	6.63±3.36
2	13.66±7.24	19.49±9.27	24.18±8.86	8.78±5.05	8.52±4.43	4.68±1.70	4.32±1.31
3	16.44±8.01	20.73±11.86	26.26±10.71	10.75±9.44*	9.34±3.90	5.47±2.37	5.10±1.50
Effective playing time (%)							
1	20.1±7.7	18.2±7.0	37.2±7.2	8.2±5.7	12.0±5.9	6.6±4.1	4.0±2.1
2	16.3±8.6*	27.0±13.9*	31.0±6.7	8.1±6.9	11.8±7.3	5.0±2.7	4.0±3.3
3	19.9±7.6#	23.9±15.2	31.4±4.5	9.8±9.6*	11.4±5.1	3.0±2.1**	2.2±1.6*

Mean ± SD. * (P<0.05) and ** (P<0.01), significantly different from period 1; # (P<0.05), significantly different from period 2.

Tableau VI. Tiré de Brocherie et coll. (2018). Moyenne par période pour les variables d'activités à faible intensité (sur place, en glisse, patinage avant à faible vitesse et patinage arrière à faible vitesse) et à haute intensité (patinage rapide vers l'avant, patinage à pleine vitesse vers l'avant, patinage rapide et à pleine vitesse vers l'arrière).

Chapitre 2: Mesure de la charge externe d'entraînement

Le suivi de la charge d'entraînement, qu'elle soit interne ou externe, contribue à mieux faire comprendre les demandes physiques du sport pratiqué et la manière dont les athlètes réagissent à cette demande. La charge externe est souvent décrite comme une mesure de l'effort total des athlètes (Luteberget, Spencer, & Gilgien, 2018). Elle est dépendante de l'intensité et de la durée des tâches et est souvent rapportée à l'aide de variables telles que la distance totale parcourue et la distance parcourue dans différentes zones de vitesse. Les événements de haute intensité sont catégorisés en utilisant des variables telles que le nombre de sprints, d'accélération, de décélérations, ou bien en distance parcourue au-dessus d'un seuil de vitesse préalablement établi, souvent représenté en mètres par seconde ou mètres par minutes (Abbott, Brickley, & Smeeton, 2018; Wik, Luteberget, & Spencer, 2017). La charge interne ressentie par un athlète peut être définie comme la sommation de la stimulation physiologique et psychologique du stress subi pendant l'activité physique. Chaque forme d'exercice est caractérisée par un stress physiologique et psychologique spécifique (Cardinale et Varley, 2017). Ce suivi aide à fournir une explication scientifique pour les variations de la performance (Halson, 2014). À partir des données recueillies, il est non seulement possible d'examiner de manière rétrospective les relations charge-performance, mais aussi de permettre une planification appropriée des charges d'entraînement et des compétitions. Le suivi de la charge est également mis en œuvre pour tenter de réduire le risque de blessure, et de surmenage (Foster, 1998). Les données peuvent être utiles pour la sélection des équipes et pour déterminer quels athlètes sont prêts à répondre aux exigences de la compétition ainsi que pour les retours au jeu suivant une blessure (Blanch & Gabbett, 2016). Il existe également un certain nombre d'avantages liés à la communication et à

l'établissement de relations avec les athlètes, le personnel de soutien et les entraîneurs. Les données objectives ou subjectives recueillies à partir du suivi peuvent également être utiles pour faciliter la communication entre le personnel médical et les entraîneurs Quarrie et coll. (2017); Borg, (1998); Banister (1991) et Foster et coll. (1995) ont été des pionniers dans les travaux sur la mesure de la charge interne et plusieurs études ont combinées celle-ci à la charge externe afin de mieux interpréter les réponses individuelles à l'entraînement. Toutefois, ce mémoire s'intéressera essentiellement à la mesure de la charge externe car elle est au cœur de l'étude expérimentale qui a été effectuée.

Dans le but de mesurer les paramètres décrivant ces charges externes, plusieurs équipes professionnelles utilisent soit un système de positionnement global (GPS), soit des centrales inertielles, une combinaison des deux, ou bien tout simplement un système d'analyse notationnelle. Les mesures de charge externe peuvent inclure, entre autres, la durée d'effort, la vitesse de mouvement ou de déplacement, la distance parcourue, l'accélération, la décélération, la puissance de travail, ou simplement un nombre de mouvements spécifiques au sport comme, au hockey par exemple, le nombre de mises en échec ou le nombre de tirs effectués. La capacité de quantifier objectivement la charge d'entraînement externe est essentielle pour le suivi des athlètes, car elle permet d'évaluer l'efficacité d'un programme ou d'une intervention d'entraînement tout en minimisant les risques de blessures (Cardinale & Varley, 2017). Pour Cardinale et Varley (2017), le suivi de la charge externe devrait être effectué sur un plan individuel pour permettre d'identifier les changements significatifs de cette dernière. Par conséquent, il est important de comprendre l'exactitude et la fiabilité des appareils utilisés pour mesurer la charge externe, car cela permet de déterminer la variation quotidienne et

hebdomadaire de ces mesures et de déterminer les changements significatifs dans la charge externe. Toujours dans le but de quantifier la charge externe, certains groupes de chercheurs dont Boyd et coll. (2013), Jennings et coll. (2010) et Johnston et coll. (2012) ont été en mesure de montrer l'utilité et la validité des accéléromètres et GPS (décrit plus bas au point 2.3.2 et 2.4) lors de matchs et d'entraînements de rugby et de football australien.

2.1 Analyse notationnelle

La charge externe dans le sport peut être simplement mesurée par observation directe (Hopkins, 1991), cette méthode demeurant la plus accessible et flexible pour s'adapter aux divers contextes sportifs. Elle a été principalement discutée dans les études à la section 1.2.2. Dans les sports individuels tels la course à pied, la natation ou le vélo, il est particulièrement simple de noter la distance parcourue (si mesurée au préalable sur une carte ou autre), les temps de passage, le nombre de tours de piste, le nombre de foulées, etc. Dans les sports collectifs, plusieurs observations peuvent être notées, des événements spécifiques au sport peuvent être notés et comptabilisés. Par exemple, au hockey sur glace, on peut vouloir compter le nombre de tirs au but, les passes réussies, les mises en échec, le temps de jeu d'un joueur et le nombre d'arrêts par un gardien. En revanche, pour Hopkins (1991), plusieurs considérations pratiques limitent la quantité de données pouvant être obtenues par cette méthode. Le problème principal se pose lorsqu'il est nécessaire qu'un ou des observateurs soient présents lors de chaque match, compétition ou séance d'entraînement. Cela peut prendre beaucoup de temps pour recueillir et analyser les données, sans compter les coûts reliés à la rémunération des observateurs. Conséquemment, toujours selon l'auteur, il serait difficile, voire même impossible, de noter

toutes les observations de tous les joueurs lors de séances d'entraînement d'une équipe sportive. Pour Barris et Button (2008), en raison du temps considérable requis pour collecter et analyser manuellement ces données, la recherche a tendance à se concentrer uniquement sur un petit nombre de joueurs dans des zones de jeu prédéfinies ou sur le joueur en possession du ballon et ceux se trouvant à proximité. Pour Franks et Hughes (2004), bien que l'analyse notationnelle soit une procédure pratique et généralement peu coûteuse, la validité et la fiabilité du processus peuvent varier en fonction d'un certain nombre de facteurs, notamment le nombre d'observateurs utilisés, leur expérience et la qualité de leur point de vue.

2.2 Reconnaissance de mouvements par camera

Mis à part l'analyse notationnelle, toutes les autres techniques énumérées précédemment font partie des technologies de type portable où les joueurs doivent porter un dispositif sur eux pour permettre la collecte de données. Même si la fiabilité de ces appareils a été montrée (Boyd, Ball, & Aughey, 2011; Nicolella, Torres-Ronda, Saylor, & Schelling, 2018), et malgré le fait qu'ils soient de plus en plus petits, légers et abordables (Wagner, 2018), il n'en demeure pas moins qu'ils peuvent être inconfortables à porter pour certains athlètes et ne sont pas à l'abri de bris ou de défaillance technique. Les avancées technologiques des dernières années ont permis de mettre en place des systèmes de reconnaissance de mouvement automatisés par caméra (Gade & Moeslund, 2018; Kang, Cohen, & Medioni, 2003; Monier, Wilhelm, & Rückert, 2009; Stein et al., 2018, 2017). Ces nouvelles technologies permettent de faire le suivi en temps réel de la charge externe des joueurs en situation de match sans qu'ils aient à porter le dispositif sur eux. Le défi est d'autant plus grand pour les sports collectifs où les joueurs portent des uniformes

similaires, se déplacent rapidement et de manière irrégulière et ont des contacts fréquents avec des adversaires. Selon l'étude de Santiago et coll. (2010), un des systèmes le plus prometteurs pour les sports intérieurs est celui qui offre une vue à vol d'oiseau. Par exemple, les algorithmes développés par Kristan et coll. (2005) utilisent deux caméras fixes placées au plafond de l'arène. Les joueurs sont d'abord identifiés par un histogramme de couleur et un coefficient de probabilité leur est attribué. Ces algorithmes permettent ensuite de suivre chacun des joueurs tout au long d'un entraînement ou d'un match.

2.3 Centrales inertielles et accélérométrie

Pour les sports intérieurs tels que le handball, le basketball et le hockey sur glace, l'analyse notationnelle est encore une des principales méthodes utilisées pour analyser les variables liées à la charge externe. Mais depuis quelques années, des avancées au niveau technologique avec l'arrivée des systèmes microélectromécaniques (MEMS ou *microelectromechanical systems*) ont permis de combiner accéléromètre, gyroscope et magnétomètre pour ainsi former une centrale inertielle (*inertial measurement units* ou IMU) permettant de mesurer la charge externe des athlètes. L'amplitude, la direction et l'orientation des accélérations peuvent être quantifiées pour la grande majorité des mouvements effectués dans le contexte sportif, particulièrement les accélérations et les décélérations, les sauts, les changements de direction et les mouvements de rotation (Rodríguez-Martín, Pérez-López, Samà, Cabestany, & Català, 2013; Wundersitz, Gastin, Robertson, Davey, & Netto, 2015). L'accéléromètre sert à enregistrer, en trois dimensions, les accélérations linéaires, il détecte le taux de changement des vitesses dans les trois dimensions (antéro-postérieure, médio-latérale et verticale). Il s'agit d'un système

couramment utilisé pour faire le suivi, évaluer et analyser les mouvements dans le sport; ses mesures sont reconnues comme étant précises et stables (Nicoletta et al., 2018).

Les centrales inertielles sont particulièrement utiles dans les sports de contact tels le rugby et le hockey sur glace. Pour Gabbett (2013), le fait de combiner gyroscope et magnétomètre à l'accéléromètre semble être déterminant pour obtenir des données de collision valides (voir figure 9). La plupart des centrales inertielles ont une fréquence d'échantillonnage de 100 Hz et peuvent transmettre les données en temps réel à une fréquence de 10Hz.

2.3.1 Mesure de « PlayerLoad™ »

Afin de quantifier la charge externe par accélérométrie, la plupart des auteurs utilisent la somme vectorielle des accélérations dans les trois dimensions. Le PlayerLoad™ (PL) est une mesure fournie par le logiciel Catapult Innovations. Il s'agit d'une unité arbitraire définie comme un taux de changement d'accélération instantané divisé par un facteur d'échelle ». Où a est l'accélération, v est la vitesse, g est la position et t est le temps. L'utilisation des accélérations dans les trois dimensions pour quantifier l'intensité du mouvement PlayerLoad™ est calculée comme suit:

$$PL = \sqrt{\frac{(a_{x(t)} - a_{x(t-1)})^2 + (a_{y(t)} - a_{y(t-1)})^2 + (a_{z(t)} - a_{z(t-1)})^2}{1000}}$$

où a_y est une accélération avant (antéro-postérieure), a_x est une accélération latérale (médio-latérale), a_z est l'accélération verticale.

2.3.2 Validité et fidélité des centrales inertielles pour la mesure de la charge externe

Le principal défi des chercheurs est de montrer la validité et la fiabilité des accéléromètres dans un contexte de sport collectif intermittent pour ainsi quantifier les demandes physiques de leur sport. Ainsi, Boyd et coll. (2011) ont montré la validité du MinimaxX 2,0 de Catapult, un IMU combiné à un GPS dans une petite unité pouvant être portée dans le dos de l'athlète, en faisant des tests en laboratoire (statique et en mouvement) et sur le terrain lors de neuf matchs de ligues de football australien. Pour chaque match, les participants ont été équipés de deux unités MinimaxX. Les deux unités ont été collées ensemble afin que leurs référentiels de coordonnées soient alignés. L'unité placée en position distale a enregistré des valeurs de PlayerLoad™ légèrement supérieures (CV = 1,6 %; $r = .999$), mais les auteurs ont inversé la position des appareils pour le deuxième match, de sorte que chaque paire produise des données à la fois dans les positions proximale et distale. Leurs résultats (voir tableau VII) montrent que le MinimaxX est fiable, aussi bien en laboratoire que sur le terrain, lors de match et ce, au niveau intra- et inter-appareils. Plus récemment, Nicolella et coll. (2018) ont placé 19 accéléromètres (OptimEye S5, Catapult Sports) sur une table vibrante afin de faire bouger de manière synchrone les unités dans les trois axes. Les auteurs rapportent que les appareils ont généralement fait preuve d'une excellente fiabilité intra-appareils, (CV inférieurs à 2,0 %). Cependant, des différences ont été observées entre les appareils, la variabilité la plus grande ayant été mesurée dans l'axe antéro-postérieur et médio-latéral par rapport à l'axe vertical, possiblement causé par un écart de calibration des appareils.

Luteberget et coll. (2018) ont également cherché à montrer la fiabilité inter-accéléromètres lors de tests effectués en laboratoire sur sept tâches spécifiques (quatre tâches simples dans un plan et 3 tâches complexes, avec des combinaisons d'accélération et de décélération, ainsi que des mouvements multidirectionnels) et sur le terrain avec 12 sessions d'entraînement de handball. Pour montrer la fiabilité inter accéléromètres, les auteurs ont collé deux accéléromètres ensemble et les positions proximale et distale des appareils ont été inversées au cours des tests. Les résultats montrent une fiabilité de bonne à modérée en situation de laboratoire, selon la complexité de la tâche (CV de 3,1, 4,4, 6,7 et 5,9 % pour les tâches à un mouvement, un changement de direction latéral, action de départ/arrêt et mouvements multidirectionnels, respectivement ; voir tableau VIII) et une fiabilité de bonne à modérée en situation d'entraînement, selon les différentes bandes d'intensité prédéfinies (CV de 2,7, 4,6, 5,3, 3,1 et 1,8 %, pour les bandes d'intensité basse, moyenne, haute, moyenne/haute et totale, respectivement; voir tableau IX). De plus, les auteurs rapportent une excellente fiabilité inter-accéléromètres du PlayerLoad™ (CV<2 %).

Van Iterson et coll. (2017) ont quant à eux été en mesure de rapporter la fiabilité du PlayerLoad™ lors de test-retest chez huit joueurs de hockey universitaire de division un. Les joueurs ont porté la même unité Optimeye S5 (Catapult Sports) lors de l'exécution de neuf tâches simulant des conditions de jeu. (Le tableau X, rapporte des CV de $8,6 \pm 1,2$, $13,8 \pm 6,0$, $7,5 \pm 0,8$, $2,8 \pm 0,1$, $2,2 \pm 0$, $3,9 \pm 0,1$, $26,6 \pm 70,0$, $3,7 \pm 0,1$, $4,1 \pm 0,1$ pour les variables d'accélération avant, d'accélération arrière, de sprint avant, de sprint arrière, de sprint avant à 60 %, de tir frappé, de présences répétées, de glisse et de repos au banc, respectivement). Ces CV nous indiquent que la fiabilité du PlayerLoad™ semble modérée à grande pour ce type de mesure de

performance. Pour un meilleur suivi longitudinal, les auteurs recommandent ainsi d'utiliser la même centrale inertielle pour le même athlète tout au long de la saison. Pour Barrett et coll. (2014; 2016) les différences inter-appareils sont possiblement dues aux différences d'économie de course, aux caractéristiques individuelles des foulées et aux mouvements du dispositif en fonction de l'emplacement de l'appareil sur le dos des athlètes.

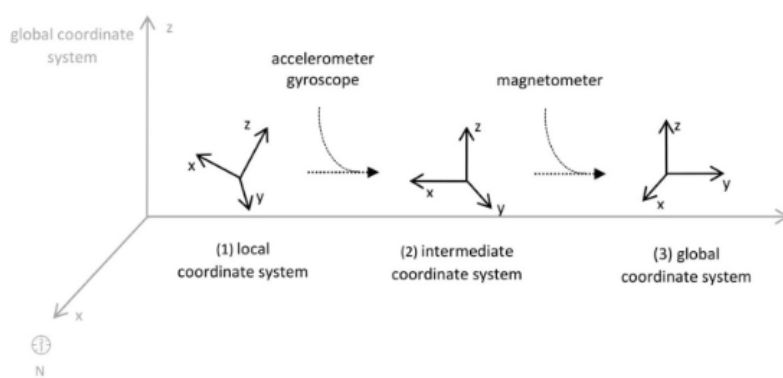


Figure 9. Tirée de Roell et coll. (2018). Les informations de position sont combinées à celles fournies par l'accéléromètre (accélérations en trois dimensions), le gyroscope (rotations dans les trois dimensions) et du magnétomètre (orientations dans les trois dimensions). Le système de coordonnées global (SCG, en gris) représente le référentiel avec l'axe des x pointant vers le nord magnétique. (1) Représente l'orientation de l'IMU dans le SCG. (2) Résultat de la fusion des données de l'accéléromètre et du gyroscope. Les axes horizontaux sont parallèles à la surface de la Terre, mais la rotation autour de l'axe z est absente. (3) La fusion des données de l'accéléromètre et du gyroscope à celle du magnétomètre permet d'aligner le système de coordonnées local avec le SCG.

	Mean	SD	TE	Lower 90% CI	Upper 90% CI	CV%
Static (within device)	0.062	0.07	0.055	0.046	0.069	1.01
Static (between device)	0.062	0.05	0.065	0.055	0.081	1.10
Dynamic 0.5 g (within device)	0.748	0.019	0.007	0.006	0.008	0.91
Dynamic 0.5 g (between device)	0.748	0.007	0.008	0.007	0.009	1.04
Dynamic 3.0 g (within device)	7.698	0.090	0.081	0.070	0.098	1.05
Dynamic 3.0 g (between device)	7.698	0.080	0.079	0.068	0.095	1.02
Sports specific (between devices)	227.692	101.246	5.064	4.497	5.841	1.94

Note. TE = technical error; CI = confidence interval; CV% = coefficient of variation.

Tableau VII. Tiré de Boyd et coll. (2011). Moyenne et écart-type du PlayerLoad™ utilisées pour mesurer la fiabilité intra- et inter-appareils lors de tests effectués en laboratoire, et sur le terrain lors de matches de football australien. L'erreur type (TE) ainsi que l'indice de confiance à 90 % sont également présentés dans le tableau.

Movement tasks	Acceleration	Device 1, mean (SD)	Device 2, mean (SD)	TE, Abs	90% CI, Abs	CV, %	90% CI, %	Events (n)
One-step actions (n = 320)	Magnitude, m·s ⁻¹	3.2 (1.0)	3.3 (1.0)	–	–	3.1	2.9–3.3	320
	Direction, deg	100.8 (50.1)	100.6 (50.4)	2.4	2.3–2.6	–	–	
Lateral CoD (n = 80)	Magnitude, m·s ⁻¹	3.1 (0.7)	3.0 (0.7)	–	–	4.4	4.3–4.6	1138
	Direction, deg	94.5 (19.0)	94.4 (18.9)	2.4	2.3–2.5	–	–	
Start/stop action (n = 80)	Magnitude, m·s ⁻¹	2.9 (0.9)	2.9 (0.9)	–	–	6.7	6.4–7.0	863
	Direction, deg	86.6 (69.5)	86.9 (69.3)	3.4	3.3–3.5	–	–	
Multi CoD (n = 80)	Magnitude, m·s ⁻¹	3.4 (1.4)	3.4 (1.4)	–	–	5.9	5.8–6.1	1301
	Direction, deg	97.7 (33.6)	97.7 (33.5)	3.6	3.5–3.8	–	–	

Abbreviations: Abs, absolute; CI, confidence interval; CoD, change of direction; CV, coefficient of variation; Events (n), the number of events included in the analyses; n, the number of trials; TE, typical error.

Tableau VIII. Tiré de Luteberget et coll. (2018). Fiabilité inter-accéléromètres pour l'amplitude et la direction des accélérations mesurées lors des tâches en laboratoire.

Intensity band	Device 1, n, mean (SD)	Device 2, n, mean (SD)	CV, %	90% CI, %	SWD, %
Low	416.5 (97.7)	417.2 (97.2)	2.7	2.4–3.1	2.3
Medium	120.3 (31.6)	120.4 (31.7)	4.6	4.0–5.3	3.0
High	68.9 (26.9)	69.4 (28.2)	5.3	4.7–6.2	5.6
Medium/high	189.2 (55.8)	189.7 (56.4)	3.1	2.7–3.6	3.7
Total	605.8 (144.7)	606.9 (144.8)	1.8	1.8–2.1	2.5

Abbreviations: CI, confidence interval; CV, coefficient of variation; IMA, inertial movement analyses; SWD, smallest worthwhile difference. Note: IMA counts were categorized into intensity bands. Low: $1.5\text{--}2.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, medium: $2.5\text{--}3.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, high: $>3.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, medium/high: $>2.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, and total: $>1.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Tableau IX. Tiré de Luteberget et coll. (2018). Fiabilité inter-accéléromètres selon les différentes bandes d'intensité prédéfinies.

Variable	CV (%)	ICC	TE (AU)	MD (AU)
F.accl	8.6 (7.4 to 9.8)	0.54 (−0.19 to 0.89)	0.13 (0.09–0.27)	0.35
B.accl	13.8 (7.8 to 19.8)	0.78 (0.23 to 0.95)	0.14 (0.09–0.28)	0.36
F.TS	7.5 (6.7 to 8.3)	0.79 (0.25 to 0.95)	0.08 (0.05–0.16)	0.20
B.TS	2.8 (2.7 to 2.9)	0.96 (0.83 to 0.99)	0.04 (0.02–0.07)	0.09
60%.TS	2.2 (2.2 to 2.2)	0.96 (0.81 to 0.99)	0.02 (0.02–0.05)	0.06
SS	3.9 (3.8 to 4.0)	0.68 (0.02 to 0.93)	0.04 (0.03–0.08)	0.10
RS	26.6 (−43.4 to 96.6)	0.95 (0.76 to 0.99)	0.25 (0.16–0.50)	0.64
IC	3.7 (3.6 to 3.8)	0.98 (0.90 to 0.99)	0.04 (0.03–0.08)	0.10
BS	4.1 (4.0 to 4.2)	0.98 (0.90 to 0.99)	0.04 (0.03–0.09)	0.11

*CV = coefficient of variation; ICC = intraclass correlation coefficient; TE = typical error; AU = arbitrary units; MD = minimum difference; F.accl = forward acceleration; B.accl = backward acceleration; F.TS = forward top speed; B.TS = backward top speed; 60%.TS = 60% top speed; SS = slap shot; RS = repeated shift; IC = ice coasting; BS = bench sitting.
†Bout 1, $N = 8$; bout 2, $N = 8$. In parentheses are 95% confidence limits.

Tableau X. Tiré de Van Iterson et coll. (2017). Fiabilité test-retest selon les neuf tâches accomplies par les huit joueurs ayant participé à l'étude.

2.3.3 Utilisation de centrales inertielles dans les sports d'équipe intérieurs

À ce jour, on compte très peu d'études utilisant l'accélérométrie ayant été réalisées sur les sports intérieurs, comme le basketball (P. G. Montgomery et al., 2010), le handball (Wik et al., 2017) ou le hockey sur glace (Bastianelli et al., 2018). Ainsi, Montgomery et coll. (2010), ont comparé la charge externe lors d'exercices offensifs, défensifs et de jeux en espace restreint aux données obtenues lors des matchs de basketball. Les auteurs concluent que pendant les entraînements, les exercices offensifs et défensifs ont des exigences physiques et physiologiques similaires (FC moyenne de 152 ± 7 et 147 ± 5 bpm; charge accumulée moyenne de 58 ± 26 et 55 ± 15 UA, pour les exercices défensifs et offensifs, respectivement) et bien que les exigences physiques des exercices en espace restreint à 5 contre 5 soit supérieures aux exercices offensifs et défensifs (FC moyenne de 147 ± 10 bpm et une charge accumulée moyenne de 171 ± 84 UA, pour les exercices en espace restreint à 5 contre 5), il n'en demeure pas moins qu'elles sont nettement inférieures aux exigences d'un match (FC moyenne de 162 ± 7 bpm et une charge accumulée moyenne de 279 ± 58 UA, pour le match; (voir figure 10).

De son côté, Wik et coll. (2017) ont utilisé l'accélérométrie pour mesurer l'intensité d'une équipe nationale de handball féminine lors de 9 matchs internationaux. Les chercheurs ont utilisé le PlayerLoad™/min et ont observé des baisses substantielles d'intensité tout au long des matchs de l'équipe pour toutes les positions, surtout pour les joueuses ayant participé à plusieurs périodes consécutives (blocs de cinq minutes) sur le terrain (voir figure 11).

Dernièrement, Bastianelli et coll. (2018) ont présenté, lors d'une conférence, des données d'accélérométrie provenant de 19 joueuses de l'équipe nationale américaine de hockey sur glace des moins de 18 ans ($17,00 \pm 0,21$ années). Les auteurs concluent que la position d'attaquant semblait demander des accélérations et des intensités relatives plus importantes dans les matchs et les entraînements que la position de défenseur, mais cela n'a pas entraîné de charges d'entraînement différentes selon les positions. Il semble également que les attaquants aient présenté des accélérations et des intensités plus importantes dans les matchs que lors des entraînements, tandis que les défenseurs ont montré le contraire. Avec l'utilisation croissante des technologies portatives pour mesurer les charges et les intensités d'entraînements et de matchs, il apparaît clairement que les systèmes microélectromécaniques ont un grand potentiel d'application à l'intérieur comme outil valide pour quantifier les mouvements spécifiques au sport (Roell, Roecker, Gehring, Mahler, & Gollhofer, 2018).

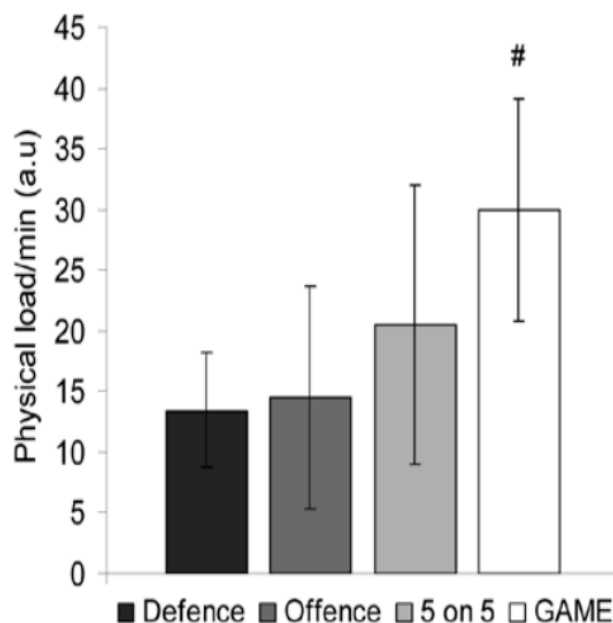


Figure 10. Tirée de Montgomery et coll. (2010). La charge physique accumulée pour les exercices d'entraînements et des matchs au basketball, déterminée par accélérométrie après normalisation du temps dans chaque condition. Les valeurs sont en unités arbitraires (a.u.). Les barres d'erreur indiquent l'écart type. Différence modérée entre des exercices en espace restreint à 5 contre 5 et le match (ES: $1,17 \pm 0,65$). # Indique une différence significative pour tous les types d'exercices.

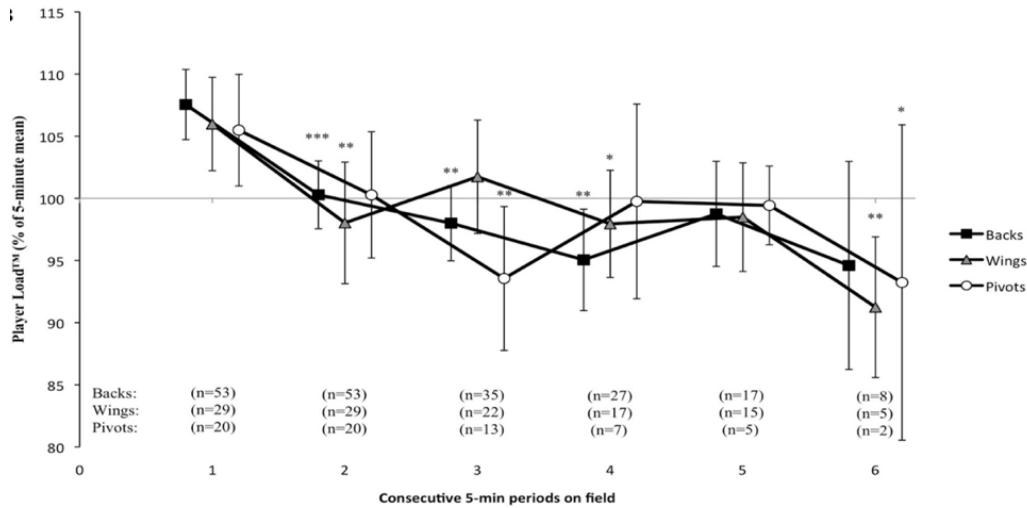


Figure 11. Tirée de Wik et coll. (2017) Pourcentage du PlayerLoad™/min moyen sur 5 minutes ($\pm 90\%$ intervalle de confiance) pour des joueuses avec au moins 2 périodes de jeu consécutives de 5 minutes, pour chacune des positions (arrière, ailier et pivot).

2.4 Systèmes de positionnement local et global (LPS et GPS)

Bien que l'utilisation du GPS dans le sport date de la fin des années '90 (Schutz & Chambaz, 1997) et que la validité de son utilisation en situation d'entraînement et de match à une fréquence d'au moins 10 Hz ait été rapportée à plusieurs reprises (Jennings et al., 2010; M. T. U. Scott et al., 2016; Varley, Fairweather, & Aughey, 2012), il n'en demeure pas moins que le principal inconvénient du système GPS est qu'il est limité aux installations extérieures. Par conséquent, les sports intérieurs ne peuvent avoir recours à cette technologie pour suivre les joueurs en compétition ou à l'entraînement.

Comme son nom l'indique, le système de positionnement local, ou « *Local Positioning System* » (LPS), également nommé système de mesure de position locale ou « *Local Position*

Measurement » (LPM), développé au début des années 2000, est semblable au GPS, mais utilisé dans un contexte intérieur, en salle. Stelzer et coll. (2004; 2004) dans leurs études, font déjà référence à son utilisation possible dans un contexte de sports collectifs intérieur ou extérieur. Les auteurs rapportent que le système peut avoir une fréquence d'échantillonnage allant jusqu'à 1000 Hz avec une précision à quelques centimètres près. Frencken et coll. (2010) ont cherché à montrer la fiabilité du système dans des conditions statiques et dynamiques lors de mouvements linéaires, avec changements de direction et mouvements combinés; les différents parcours ont été accomplis à la marche et à la course (voir résultats tableau XI). Les auteurs concluent que le système LPM génère des données de position et de vitesse extrêmement précises, et ce, dans des conditions statiques et dynamiques. Par la suite, Sathyan et coll. (2012) ont montré la fiabilité du système LPS dans des conditions extérieures et intérieures. Il y a plusieurs types de systèmes LPS disponibles et leur fiabilité est principalement affectée par la fréquence de transmission des données et le nombre de récepteurs (antennes) autour du terrain (Hoppe, Baumgart, Polglaze, & Freiwald, 2018; Luteberget, Spencer, et al., 2018; Sathyan et al., 2012).

Course	Course length (cm)	Difference			Mean difference as a %	SD as CV%
		Mean \pm SD	Min-max	95% CI		
<i>Walking</i>						
Straight	500	1 \pm 2	-2 to 5	0 to 2	0.2	0.4
45° turn	1000	-8 \pm 6	-9 to 4	-10 to -6	-0.8	0.6
90° turn	1000	-16 \pm 10	-33 to 6	-20 to -12	-1.6	1.0
Combined	2500	-29 \pm 27	-77 to 26	-40 to -19	-1.2	1.1
<i>Sprinting</i>						
Straight	500	0 \pm 3	-6 to 10	-1 to 1	0.0	0.6
45° turn	1000	-6 \pm 9	-25 to 10	-9 to -2	-0.6	0.9
90° turn	1000	-16 \pm 20	-48 to 25	-24 to -9	-1.6	2.0
Combined	2500	-2 \pm 42	-63 to 104	-14 to 18	-0.1	1.7

Tableau XI. Tiré de Frencken et coll. (2010). Différences entre les mesures réelles (lignes placées au sol) et mesures de distance fournies par le système LPM pour tous les parcours de marche et de sprint (30 essais par parcours). Les données sont présentées en cm.

2.4.1 Mesure des distances parcourues sur la glace au cours d'un match

Plusieurs sports collectifs utilisent la distance totale parcourue (mesurée par GPS) des athlètes pour mesurer la charge externe des joueurs de soccer (Di Salvo et al., 2010) et de rugby (McLaren, Weston, Smith, Cramb, & Portas, 2016; O'Hara et al., 2013). Les seuls travaux rapportant des mesures de distance à l'aide de LPS ont été effectués sur des matchs ou entraînements isolés (Luteberget, Spencer, et al., 2018; Sathyan et al., 2012). En utilisant cette technologie, les auteurs sont en mesure de catégoriser les différentes intensités fournies par les joueurs (marche, course légère, accélération maximale et changements de direction) pour mieux quantifier le temps complété et ainsi mieux apprécier la charge externe effectuée.

En contrepartie, il y a très peu d'études mesurant les distances totales parcourues lors de matchs de hockey sur glace. Seliger et coll. (1972) ont estimé que les joueurs de l'équipe nationale tchécoslovaque (n = 13) couvraient une distance moyenne de 5160 m (entre 4860-5620) pendant un match. Leurs estimations sont toutefois simplement basées sur la distance moyenne parcourue à chaque virage ainsi que le nombre de virages. Les auteurs citent, entre autres, les travaux de Yokobori (1964), qui ne sont pas indexés dans la bibliothèque nationale de médecine (PubMed) ou Google Scholar, et qui stipulent que les meilleurs joueurs couvrent une distance entre 6400m et 7200 m par match. Green et coll. (1976), quant à eux, ont utilisé l'analyse vidéo (« time-motion analysis ») et ont estimé que pendant 24 minutes de jeu, un joueur couvre en moyenne une distance de 5553 m. En utilisant la relation entre la vitesse de patinage et son coût en oxygène, décrit par Ferguson et coll. (1969), Green et coll. (1976) ont estimé que si les joueurs maintenaient des vitesses de patinage correspondant à 70-80 % de leur VO₂max, des vitesses de patinage allant de 350 à 400 m/min auraient été attendues pendant le jeu. Cependant,

les joueurs de niveau universitaire mesurés par Green et coll. (1976) n'avaient qu'une vitesse moyenne de 227 m/min, qui est largement inférieure aux vitesses estimées. Les auteurs en concluent que même si la vitesse du patinage représente une des principales composantes de la charge de travail du joueur, son utilisation singulière sous-estime la dépense énergétique. Les changements de vitesse et les virages fréquents, les tirs et les mises en échec sont des activités qui s'ajoutent à la charge du joueur, mais qui ne peuvent être représentées par les vitesses de déplacements à elles seules. Plus récemment, des analyses de mouvement dans le temps effectuées sur des joueurs professionnels ($n = 10$) lors d'un match de niveau international ont rapporté une distance moyenne parcourue lors du match de 4441 ± 972 m pour un temps de jeu moyen de $16,1 \pm 3,6$ min (Brocherie et al., 2018). Les auteurs rapportent également une vitesse moyenne de $16,55 \pm 3,62$ km/h lors du match avec des vitesses maximales pouvant atteindre 30 km/h. Autre fait intéressant de l'article, les auteurs ont quantifié les moments de glisse lors des présences sur la glace, sans patinage. Ils estiment le temps de glisse total à $23,0 \pm 12,0$ % du temps total des présences des joueurs sur la glace.

2.4.2 Combinaison de centrales inertielles et système de positionnement

Le port de centrale inertielle combiné à un système de localisation local (LPS) est très prometteur, car il permet de reproduire sensiblement les mêmes conditions que les sports collectifs extérieurs. Le système LPS permet de suivre la position des joueurs et par extension de mesurer leurs déplacements, leur vitesse, la distance parcourue, ainsi que le nombre d'accélération et de décélération. La centrale inertielle, quant à elle, permet d'obtenir principalement les accélérations et décélérations. De plus, lorsque l'on traite le signal, on peut extraire davantage d'informations comme les changements de direction, les collisions entre joueurs et les contacts avec la bande ou le sol (O'Hara et al., 2013).

Chapitre 3: Suivi longitudinal de la charge externe

3.1 Suivi de la charge externe au cours d'une saison

Certains chercheurs se sont penchés uniquement sur le suivi de la charge externe en cours de saison dans le sport de haut niveau, principalement au soccer et au rugby (Akenhead et al., 2016; Boyd et al., 2013; Clemente et al., 2018; Cummins, McLean, Halaki, & Orr, 2017; Stevens et al., 2017). Le principal défi pour les chercheurs était de trouver les bons paramètres de performance. Clemente et coll. (2018) ont cherché à tracer un profil type de la charge hebdomadaire moyenne de deux équipes professionnelles de soccer. En utilisant des centrales inertielles, ils ont cherché à comprendre la distribution de la charge hebdomadaire en fonction du nombre de jours avant un match. Ainsi, au cours des 7 semaines de cueillette de données d'entraînements, ils ont utilisé la distance totale parcourue, le nombre d'accélérations, les vitesses maximales atteintes et le PlayerLoad™ (voir figure 12). Ils ont ainsi pu comparer la différence d'intensité d'entraînement des deux clubs à l'approche des matchs. La distance totale parcourue passe de 7062 ± 1460 à 4584 ± 1053 m entre MD-5 et MD-1 et le nombre d'accélérations (n) à haute vitesse passe de $0,12 \pm 0,11$ à $0,04 \pm 0,05$ n/min. lors de la même période, ce qui représente des réductions de ~40 et 67 % du volume et de l'intensité, respectivement. Les chercheurs remarquent également une différence d'intensité entre le club portugais et néerlandais au cours des semaines, mais avec la même tendance au niveau de la baisse de charge et d'intensité à l'approche du match.

De leur côté, Akenhead et coll. (2016) ont mené le même genre d'étude lors de la saison 2011-12 avec un club professionnel de soccer de la première ligue anglaise, en utilisant 12 des 39 semaines du calendrier, correspondant à une semaine type de compétition de la ligue anglaise, soit 1 match précédé de 4 entraînements et de 2 journées de congé. Ils ont pu observer, en classant les joueurs par position, une différence positionnelle pour la distance totale parcourue et pour la distance totale des accélérations et décélérations (voir tableau XII). En comparant avec les résultats des exigences de matchs de Di Salvo et coll. (2010), ils ont été en mesure de constater que les entraînements ne reflètent pas les demandes positionnelles des matchs (Jones, Griffiths, & Mellalieu, 2016).

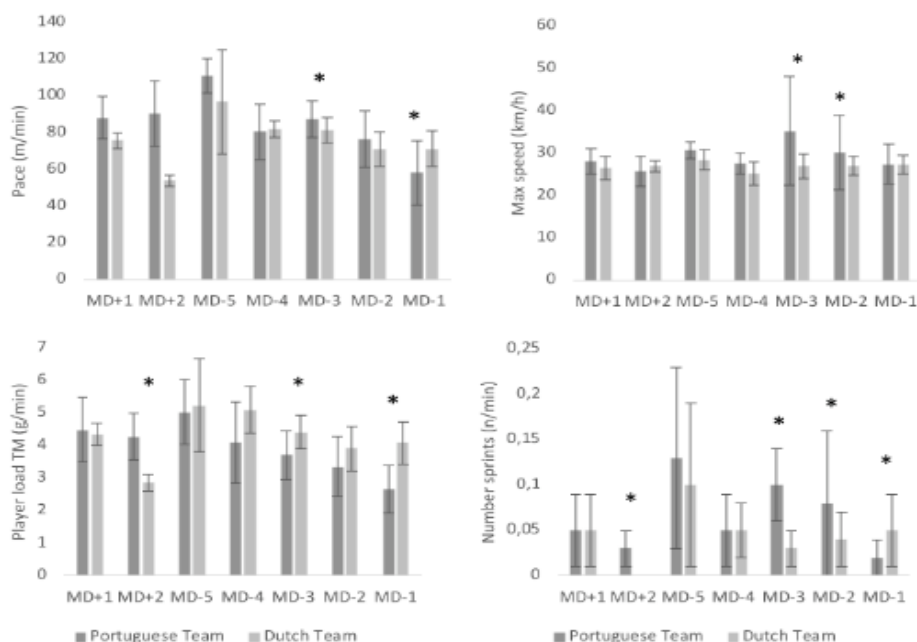


Figure 12. Tirée de Clemente et coll. (2018) Comparaison entre l'équipe portugaise et néerlandaise selon les journées post et pré match (MD+ et MD-, respectivement). Vitesse moyenne de déplacement, vitesse maximale, PlayerLoad™ et nombre de sprints effectués entre les deux équipes et les jours de la semaine. *Différence significative entre les équipes $p < 0,05$).

	CD	WD	CM	WM	F
TD (m)	4,834 (4,444–5,224)	4,846 (4,488–5,204)	5,463‡ (5,093–5,833)	4,971 (4,607–5,337)	4,809 (4,446–5,171)
Walk/jog (m)	3,919 (3,650–4,190)	3,600 (3,346–3,854)	3,931 (3,670–4,194)	3,680 (3,418–3,942)	3,698 (3,439–3,957)
HSR distance (m)	79 (37–121)	118 (80–158)	102 (62–144)	102 (61–144)	94 (54–135)
HSR efforts (n)	6 (3–10)	10 (7–13)	8 (4–11)	9 (6–12)	8 (5–11)
SPR distance (m)	19 (4–35)	28 (14–42)	13 (0–28)	22 (9–37)	24 (10–38)
SPR efforts (n)	1 (1–2)	2 (1–3)	1 (0–2)	2 (1–2)	2 (1–3)
ACC _{TOTAL} (m)	421 (372–469)	463 (422–504)	502‡ (459–545)	461 (419–502)	435 (394–477)
DEC _{TOTAL} (m)	360 (319–403)	405 (369–442)	441 (404–480)	411 (374–448)	378 (342–416)
>90%HRmax (min)	5.1 (1.3–8.9)	4.2 (1.1–7.4)	7.6 (4.3–11.0)	5.8 (2.5–9.2)	3.4 (1.0–6.7)
Player load (a.u.)	511 (440–580)	495 (440–550)	582 (520–640)	513 (455–570)	517 (460–575)

*CD = central defenders; WD = wide defenders; CM = central midfielders; WM = wide midfielders; F = forwards; TD = total distance; Walk/jog distance = $< 3.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; HSR = high-speed running $> 5.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; SPR = Sprint running $> 6.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; ACC_{TOTAL} and DEC_{TOTAL} are distances covered $> 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ and $< -1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ respectively; HR = heart rate; a.u. = arbitrary units.

†Data are presented as mean (95% confidence interval).

‡Greater than CD, WD and F ($p < 0.03$).

Tableau XII. Tiré de Akenhead et coll. (2016). Moyenne quotidienne d'événements temporels, FC, et paramètres d'accélérométrie pour chacune des positions

Dans un autre ordre d'idée, Stevens et coll. (2017), dans leur étude, cherchent à comparer les charges externes et les intensités d'entraînements aux demandes de match (3 matchs amicaux) d'une équipe professionnelle néerlandaise. Ils reprennent principalement les mêmes variables que les autres auteurs, mais comparent les valeurs moyennes d'entraînements aux valeurs moyennes des matchs amicaux et cherchent à voir s'il y a une différence au niveau de la charge d'entraînement entre les joueurs réguliers et les joueurs remplaçants (joueurs qui sont peu souvent utilisés en situation de match) en fonction de la journée d'entraînement (voir figure XIII). Avec les valeurs de match, ils sont en mesure de cumuler les charges hebdomadaires en nombre de matchs joués par semaine selon les variables (voir figure 14). Pour une semaine type d'un match précédé de 4 entraînements, Stevens et coll. (2017) montrent qu'en moyenne, un joueur cumule 4,4 matchs en termes de durée totale, 3,1 matchs en distance, 3,9 matchs en nombre d'accélération de haute intensité ($> 3,0$ m/s) et 3,3 matchs en nombre de décélération de haute intensité ($-3,0$ m/s). Même si l'étude apporte des éléments nouveaux, il aurait été intéressant de comparer les valeurs d'entraînement à des valeurs de match de championnat et non à des matchs amicaux.

	Match	Regular training (starters and nonstarters)				Nonstarters training (MD+1)		
		MD-4	MD-3	MD-2	MD-1	MD-4	MD-3	MD-2
# sessions	3	6	9	14	15	11	12	9
# players per session		18 ± 6	19 ± 2	19 ± 3	18 ± 2	8 ± 3	8 ± 3	10 ± 2
N total (time-motion/HR)	38 (37/33)	92 (91/72)	152 (143/131)	242 (231/210)	257 (253/215)	69 (67/54)	88 (86/65)	78 (78/64)
Duration (min)	90 ± 0 ^a	88 ± 11	82 ± 7	77 ± 12	59 ± 7	85 ± 13	82 ± 8	82 ± 11
Total distance (m)	10927 ± 619	7267 ± 913	6120 ± 1188	5219 ± 881	3848 ± 454	6022 ± 993	5775 ± 986	5455 ± 825
EE (kJ · kg ⁻¹)	58 ± 3	40 ± 6	33 ± 6	29 ± 5	21 ± 2	33 ± 5	32 ± 4	30 ± 4
Time >90%HR _{max} (min)	22 ± 18	17 ± 10	4 ± 6	4 ± 5	3 ± 4	9 ± 9	6 ± 6	4 ± 4
RUN (m)	1614 ± 320	834 ± 169	692 ± 219	510 ± 156	328 ± 101	372 ± 137	349 ± 129	383 ± 148
HSR (m)	738 ± 244	249 ± 85	281 ± 134	175 ± 108	106 ± 53	291 ± 267	105 ± 115	75 ± 47
# medium ACC	165 ± 25	131 ± 31	82 ± 25	81 ± 21	55 ± 13	88 ± 19	79 ± 18	84 ± 15
# high ACC	61 ± 14	66 ± 18	44 ± 13	45 ± 15	26 ± 8	38 ± 12	35 ± 12	40 ± 14
# medium DEC	111 ± 19	98 ± 23	64 ± 18	65 ± 17	44 ± 10	69 ± 15	65 ± 15	67 ± 14
# high DEC	58 ± 14	49 ± 16	30 ± 11	29 ± 11	23 ± 8	26 ± 11	27 ± 11	27 ± 8
HP (m)	2472 ± 315	1363 ± 266	1066 ± 335	854 ± 242	565 ± 124	951 ± 297	750 ± 181	741 ± 173

Tableau XIII. Tiré de Stevens et coll. (2017). Statistiques descriptives (écart-type) des variables de charges d'entraînements pour les joueurs réguliers et non-partants selon le type de journée.

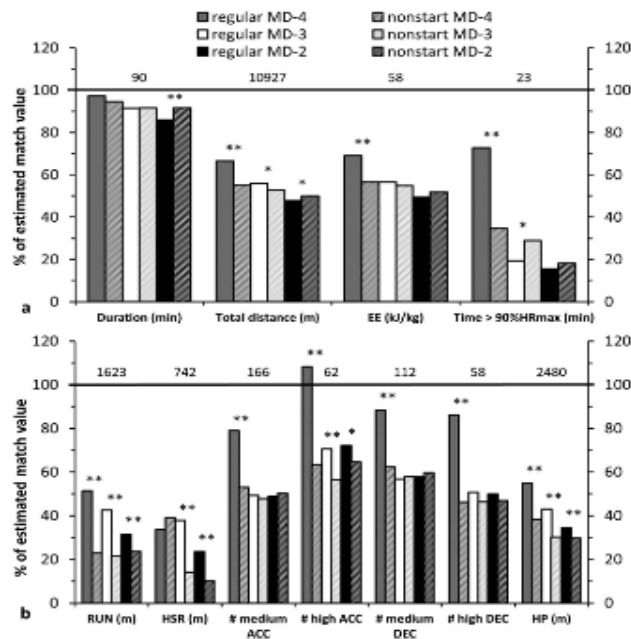


Figure 13. Tirée de Stevens et coll. (2017). Charge d'entraînement estimée des joueurs réguliers et des non-partants, exprimée en pourcentage des valeurs correspondant aux moyennes de matchs.

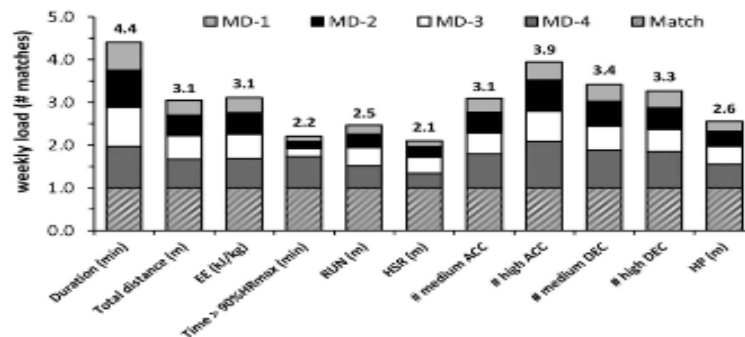


Figure 14. Tirée de Stevens et coll. (2017). Charge d'entraînement hebdomadaire cumulative d'une semaine typique avec 1 match et précédée de 4 sessions d'entraînement (MD-4, MD-3, MD-2 et MD-1) selon les différentes variables.

Au cours de cette revue de littérature, nous avons dans un premier temps fait, à travers l'évolution du hockey sur glace moderne, une analyse de la tâche du joueur de hockey sur glace. Nous avons été en mesure de constater que la morphologie du joueur a énormément changé au cours des décennies et qu'il est important d'analyser les joueurs selon leur position, chacune des positions comportant des demandes qui lui sont propres, et ce, sur tous les aspects du jeu (temps de jeu moyen, vitesse atteinte et distance totale des joueurs, etc.). Au fil des années, la durée des présences sur la glace a diminué de moitié, ce qui a considérablement accéléré le jeu. Dans un deuxième temps, nous avons détaillé les différentes méthodes de mesure de la charge interne et externe et les différents défis que comporte le suivi des différentes charges sur une équipe sportive.

L'arrivée de nouvelles technologies telles que les centrales inertielles fait en sorte qu'il est maintenant possible d'utiliser l'accélérométrie pour mesurer la charge externe. Plusieurs sports extérieurs comme le rugby, le soccer ou le football australien utilisent déjà depuis un certain temps ces méthodes de suivi de la charge et nous avons été en mesure de regarder les différentes variables qui sont utilisées pour mesurer la charge et l'intensité du travail accompli. La complexité du hockey sur glace, combinée au fait qu'il soit un sport de glisse, rend l'interprétation des signaux d'accélérométrie plus complexe que dans les sports avec des impacts au sol (soccer, rugby, etc.). À ce jour, Il y a très peu d'études rapportant des données d'accélérométrie en hockey. Bien que certains sports d'intérieur (handball, basketball, etc.) ont rapporté la validité et la fiabilité des centrales inertielles dans un contexte de sport intermittent avec changements de direction, d'autres travaux devront être effectués pour confirmer ces résultats sur la glace.

Enfin, à partir d'études effectuant le suivi longitudinal de la charge externe dans des équipes sportives professionnelles, certains des défis et contraintes de la mise en place d'un tel suivi ont été discutés. Aucune étude n'ayant encore rapporté la charge externe de joueurs de hockey au cours d'une saison, le but de ce travail de maîtrise et de l'étude expérimentale qui suit est de décrire les charges externes de joueurs de hockey professionnels au cours d'une saison régulière. Les mesures de la charge externe seront effectuées avec des accéléromètres et on tentera de comparer les charges entre les positions (centres, ailiers et défenseurs) au cours de la semaine et de la saison. Les hypothèses sont que la charge d'entraînement serait différente selon la position du joueur pendant les matchs, et qu'elle serait plus faible en situation d'entraînement qu'en match, en plus de diminuer dans la semaine, à l'approche du match.

Chapitre 4: Article

In-season session training load relative to match load in professional ice hockey

Allard P^{1,2}, Martinez R¹, Deguire S¹, Tremblay J¹.

¹School of Kinesiology and Exercise Science, Faculty of Medicine, University of Montreal

²Montreal Canadiens Hockey Club, Montreal, Canada

Abstract

For a typical team of the American Hockey League (AHL), the calendar has 76 matches spread over 28 weeks in which players compete for a place in the playoffs. In addition, players have to participate in on- and off-ice training sessions to maintain/build hockey-specific skills and fitness. The current study had the following purposes: (1) describe how the load and intensity of a match is related to the position and period played, (2) describe how each pre-game training load and intensity are distributed over typical training days for each player position, and (3) describe the cumulative weekly training load over the whole season. Fifty players, which at one time or another were part of the roster for the Laval Rocket during the 2017-18 season of the AHL, participated in this study. The players' external load was monitored in every training session (categorized as days before the match day, i.e., MD minus) and match over the season using portable inertial measurement units. Our results revealed that (1) defensemen have a lower intensity during matches while the load is similar across position. The first period appears to have higher relative load while the third has a lower relative intensity. In addition, (2) only

training performed in the morning of a match has a lower load and intensity, while the other days of a typical week are similar. Defensemen seem to train at a systematic higher relative intensity than winger and centers. Finally, (3) the weekly load remains relatively constant throughout the season. Our results argue for a careful consideration of the external load (EL).

Keywords: team sport, external load, accelerometer, on-ice load.

Introduction

The competitive practice of ice hockey imposes significant physiological stress on players, at both amateur and professional levels (D. L. Montgomery, 1988). With a busy schedule which involves matches, on-ice training and strength & conditioning sessions, coaches and athletes must skillfully juggle with fatigue, injury and performance issues (Donaldson, Li, & Cusimano, 2014). Various monitoring methods for training and competition, such as Inertial Measurement Units (IMU's), Global Positioning Systems (GPS) or Local Positioning Systems (LPS) were reported in other team sports, such as soccer (Akenhead, Harley, & Tweddle, 2016; Clemente et al., 2018; Stevens, de Ruiter, Twisk, Savelsbergh, & Beek, 2017), rugby (Cummins, McLean, Halaki, & Orr, 2017) and Australian football (Boyd, Ball, & Aughey, 2013). Many professional organizations have implemented such methods to quantify (EL) and monitor fatigue, thereby attenuating the risk of injury and potentially improve performance (Eckard, Padua, Hearn, Pexa, & Frank, 2018). EL, which has been described as a measure of total athlete effort (Luteberget,

Spencer and Gilgien, 2018), is related to intensity and duration of physical efforts and is often reported using variables such as total distance covered or in different predefined velocity bands. Efforts can be categorized using variables such as the number of sprints, accelerations, decelerations or distances traveled above a previously established velocity threshold, often represented in meters per second or meters per second per minute (Abbott, Brickley, & Smeeton, 2018; Wik, Luteberget, & Spencer, 2017).

The use of GPS in sport became popular since the late 1990s (Schutz & Chambaz, 1997) and has been validated to quantify EL during outdoor training and competition situations (Jennings, Cormack, Coutts, Boyd, & Aughey, 2010; Scott, Scott, & Kelly, 2016; Varley, Fairweather, & Aughey, 2012). For indoor sports, LPS can be used but requires the installation of antennas (see Roell, Roecker, Gehring, Mahler, & Gollhofer, 2018 for a review) and as such, is not practical for competitive ice hockey with many training sessions and matches performed outside home facilities. Although IMUs show great potential as a valid tool to identify accelerations and decelerations during specific team sports movements practiced indoors (Chambers, Gabbett, Cole, & Beard, 2015; Roell et al., 2018), only a few studies have reported their use in indoor sports such as basketball (P. G. Montgomery, Pyne, & Minahan, 2010), handball (Wik et al., 2017) and more recently, ice hockey (Van Iterson, Fitzgerald, Dietz, Snyder, & Peterson, 2017). The common measure of EL in these studies is PlayerLoadTM (PL) (Chambers et al., 2015). Van Iterson et al. (2017) was able to show moderate-to-large test-retest reliability in the assessment of PL during ice hockey for multiple sport-specific tasks.

However, ice hockey has various peculiarities making it different than land-based sports. For example, Bracko et al. (1998) has shown that professional ice hockey players typically spend 39% of on-ice time gliding on two feet and 16% stride cruising to maintain a given speed. The important gliding component combined with low ground reaction forces raises doubts on the validity of PL to measure EL in ice hockey. Some manufacturers have thus developed proprietary algorithms to better identify skating strides. For example, Catapult Sports™ has developed new proprietary algorithms using machine learning, two of which are on-ice load (OIL) and OIL per minute (OIL/min), only considering on-ice active time and removing the resting states (*i.e.*, coasting, standing) from the load computation. To our knowledge, no study so far has reported using these metrics to compare EL between training sessions and matches at a professional level.

Therefore, the first aim of this study is to describe how the match load and intensity is related to the position and period played. Secondly, we seek to describe, for each center, winger and defenseman, the distribution of EL in pre-game training sessions during days preceding matches. Finally, the cumulative weekly EL will be investigated over the whole season. Based on similar reports from other sports (Cummins, Orr, O'Connor, & West, 2013; Di Salvo et al., 2010), we first hypothesized that positional differences would exist for OIL and OIL/min during matches. Second, we hypothesized that EL would be lower on training days closer to a match (Akenhead et al., 2016; Stevens et al., 2017). Finally, as reported in Dutch Eredivise football players (Stevens et al., 2017), that the cumulative weekly EL would remain relatively stable over the season.

Methods

Participants

Fifty elite male American Hockey League players participated in this study (age: 23.9 ± 3.7 years; height: 184.2 ± 5.3 cm; body mass: 89.5 ± 6.8 kg). All participants gave their written informed consent before participating in this study which was approved by the human health research ethics committee of the University of Montreal (certificate #18-043-CERES-D).

Methodology

Physical training

Training load data were collected using the Catapult system during the 2017-2018 season. The regular season started on the first week of October and a total of 173 team sessions were collected, representing 3226 individual on-ice training and match sessions, during the course of the season, until mid-April for a total of 28 weeks. The on-ice training sessions were categorized into either regular practice or morning skate », where the latter is a practice which occurs in the morning of a match. Game data (excluding warm-up period) were collected during 76 regular season team matches. Practice data were collected during 63 regular season team practices and subsequently labeled by match-day (MD) differences (MD-5: 1 session, MD-4: 4 sessions, MD-3: 10 sessions, MD-2: 14 sessions and MD-1: 34sessions). As such, the MD-5 session was considered an outlier and excluded from the study. « Morning skate » (MD-0) data were collected for 35 team sessions. In total, the unit was worn 98 % of the time for games. Players that did not wear the unit for the whole game (1 or 2 periods out of 3) represented 4.2 % of the sample and were considered lost at random. Additional individual player sessions such as skill

sessions (102), non-game individual player sessions (36), and injured player sessions (71) were excluded from the study. On average, the players completed 2.71 ± 0.60 matches, 2.28 ± 0.93 on-ice training sessions and 1.30 ± 0.72 “morning skate” per week throughout the season. All on-ice training sessions were designed and led by the coaching staff.

Positional Groups

Participants were categorized into 1 of 3 on-ice positional groups representing defenseman (n=21), center (n=8) and winger (n=21); goaltenders were excluded. Professional ice hockey is characterized by a high player turnover (*e.g.*, recalls, tryouts, injuries, etc.) during a season, which explains the high number of players participating in the study.

External Load Measurement

Player movements were assessed using an IMU housing a triaxial accelerometer, gyroscope and magnetometer (ClearSky T6, Catapult Sports, Melbourne, Australia). The devices were worn in a custom-designed pocket on a vest supplied by the device manufacturer, located on the upper back, between the shoulder blades. Data from each IMU was recorded at a sampling frequency of 100Hz and downloaded from each device using the manufacturer’s software and firmware (Catapult Openfield, version 1.15.3, Melbourne, Australia; firmware version 4.2). Aggregated data for each training session and match was split and labelled by drill or period, respectively, thus removing inactive time or transitions. EL is commonly measured using PlayerLoad (PL) and intensity is reported as PL/min, where the PL divided by the session duration. However, in the current study, OIL and OIL/min were preferred to PL and PL/min to report differences in EL and intensity, as OIL attempts to remove EL when players are resting. While the PL has been used in previous studies (Barrett et al., 2016; Luteberget, Holme, & Spencer, 2018; Ritchie,

Hopkins, Buchheit, Cordy, & Bartlett, 2016; Wik et al., 2017), the OIL remains to be validated. However, a strong and significant Pearson correlation ($R^2=0.98$, $p<0.01$) between PL and OIL suggests that the use of OIL, and by extension OIL/min, appear representative of the EL observed in ice hockey. OIL and OIL/min were also normalized and reported as percent of average match EL, by position, over the whole season (100% corresponding to the average match EL). The weekly training load was computed as the sum of the EL, expressed in match equivalents per week.

Statistical Analysis

All data transformations, computations, plots, descriptive and inferential statistics were done using Python (version 3.6). Linear mixed modelling was chosen as it can handle unbalanced designs, repeated measures and missing values (Goldstein, 2011). Four linear mixed models were used to investigate (1) the absolute OIL and OIL/min during match by position, (2) the relative OIL and OIL/min during match by period and position played, (3) the relative OIL and OIL/min during training by position and pre-match days and finally, (4) the relative weekly cumulative load by month and position played. When significant ($p<0.05$), main effects and interactions were further examined used Tukeys's HSD post-hoc procedure. The mean difference and Cohen's d effect size were reported when post-hoc analysis revealed significant differences (Cohen, 1988).

Results

Absolute load and intensity during match by positions

No significant inter-position differences were found in the match OIL ($p > 0.05$), with an average of 149 ± 38 OIL (Figure 1). However, defensemen achieve statistically lower OIL/min values than centers (-1.28 ± 0.06 OIL/min, $p < 0.05$, $d = 1.21$) and wingers (-1.99 ± 0.05 OIL/min, $p < 0.05$, $d = 1.75$). No inter-position differences were found in the absolute OIL although defensemen had a lower absolute OIL/min than forwards (-1.70 , in average).

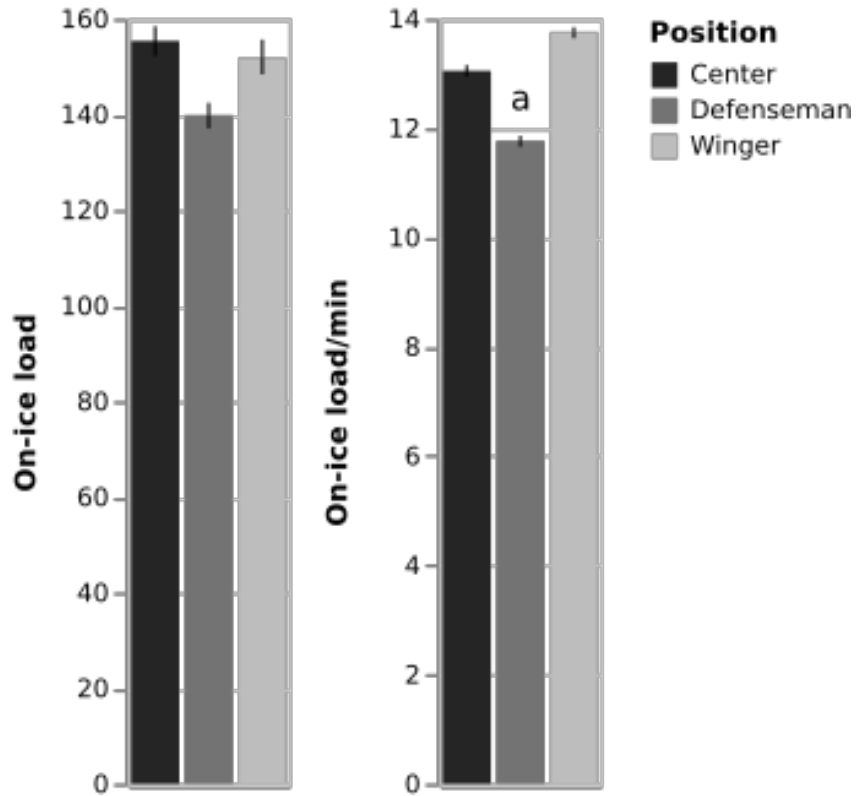


Figure 1. Absolute match OIL (left) and OIL/min (right) by position, with 95%-confidence-interval (error bars). ^aDefensemen have a lower OIL/min than the other positions.

EL and Intensity Relative to Match by Period and Players Position

While the interaction between position and period as well as the position main effect do not reach significance in the relative OIL ($p > 0.05$), players have a higher relative OIL during the first period compared to the second ($+4.49 \pm 0.78\%$, $p < 0.05$, $d = 0.18$) and the third period ($+6.09 \pm 0.76\%$, $p < 0.05$, $d = 0.22$) (Figure 2). Similarly, both the position-period interaction and the position main effect do not reach significance while the third period shows a lower relative OIL/min than the first ($-3.22 \pm 0.74\%$, $p < 0.05$, $d = 0.32$) and second period ($-2.61 \pm 0.74\%$, $p < 0.05$, $d = 0.17$). Thus, the relative load is higher during the first period, (+5.28%, in average) independently of the position, whereas the relative intensity decreases during the third period (-2.91%, in average).

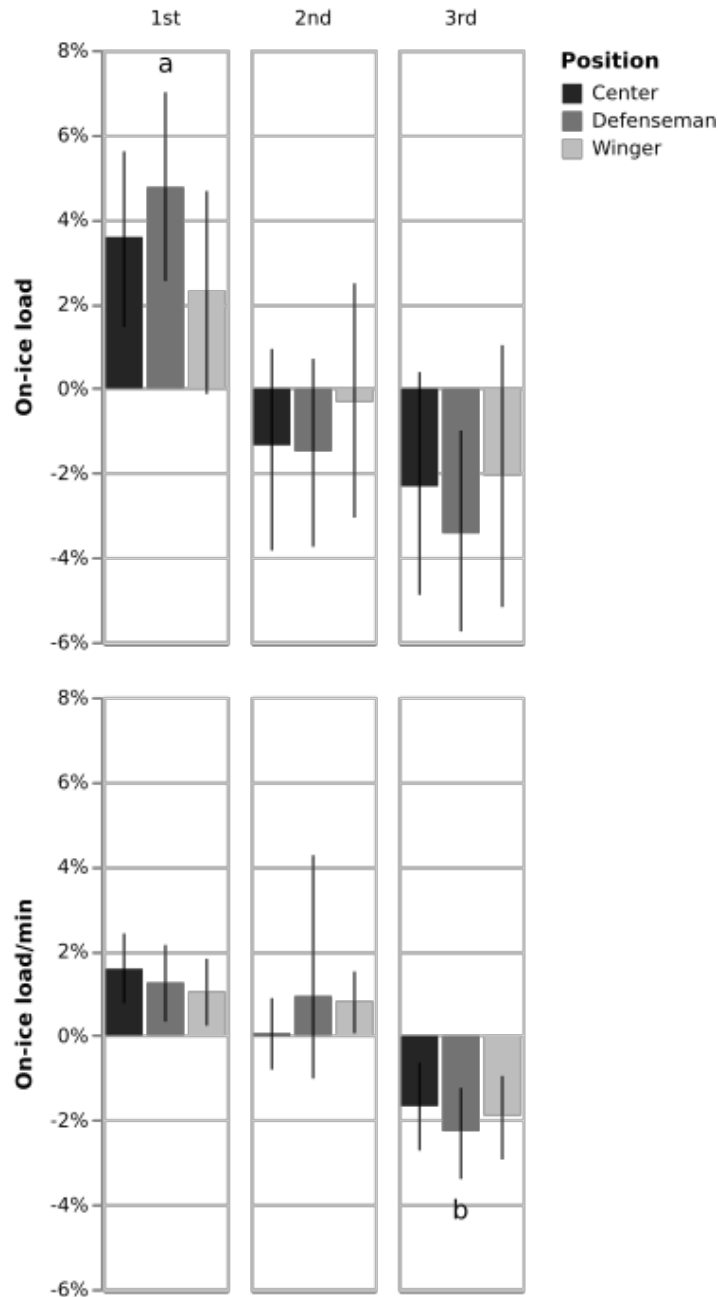


Figure 2. Relative match OIL (top) and OIL/min (bottom) by position and period (columns) with 95%-confidence-interval (error bars). All values are expressed as the relative difference to the season positional average match value. The first period has a higher relative OIL than the other period (indicated by a) and the third period has a lower relative OIL/min than the other periods (indicated by b).

Relative load and Intensity during training by positions and pre-match days

There is no significant interaction between position and match-day as well as no position main effect in the relative OIL during pre-match training ($p > 0.05$). Only MD-0 training sessions have a statistically lower relative volume than MD-1 ($-24.62 \pm 0.71\%$, $p < 0.05$, $d = 1.48$), MD-2 ($-31.75 \pm 0.94\%$, $p < 0.05$, $d = 1.74$), MD-3 ($-37.76 \pm 1.02\%$, $p < 0.05$, $d = 2.20$) and MD-4 ($-29.89 \pm 1.49\%$, $p < 0.05$, $d = 1.54$) training sessions (Figure 3). Likewise, the interaction between position and match-day relative OIL/min do not reach significance and MD-0 sessions appear to have lower relative OIL/min than MD-1 ($-4.37 \pm 0.39\%$, $p < 0.05$, $d = 0.44$), MD-2 ($-3.74 \pm 0.52\%$, $p < 0.05$, $d = 0.37$) and MD-3 ($5.27 \pm 0.57\%$, $p < 0.05$, $d = 0.55$) sessions. Additionally, defensemen achieve systematically higher relative OIL/min than wingers ($+8.72 \pm 0.36\%$, $p < 0.05$, $d = 0.93$) and centers ($+7.85 \pm 0.39\%$, $p < 0.05$, $d = 0.84$). Accordingly, relative load and intensity are lower on MD-0 training sessions than on other days (-28.72% and -4.28% , respectively) and an inter-position difference appears between defensemen and forwards ($+8.34\%$ in defensemen).

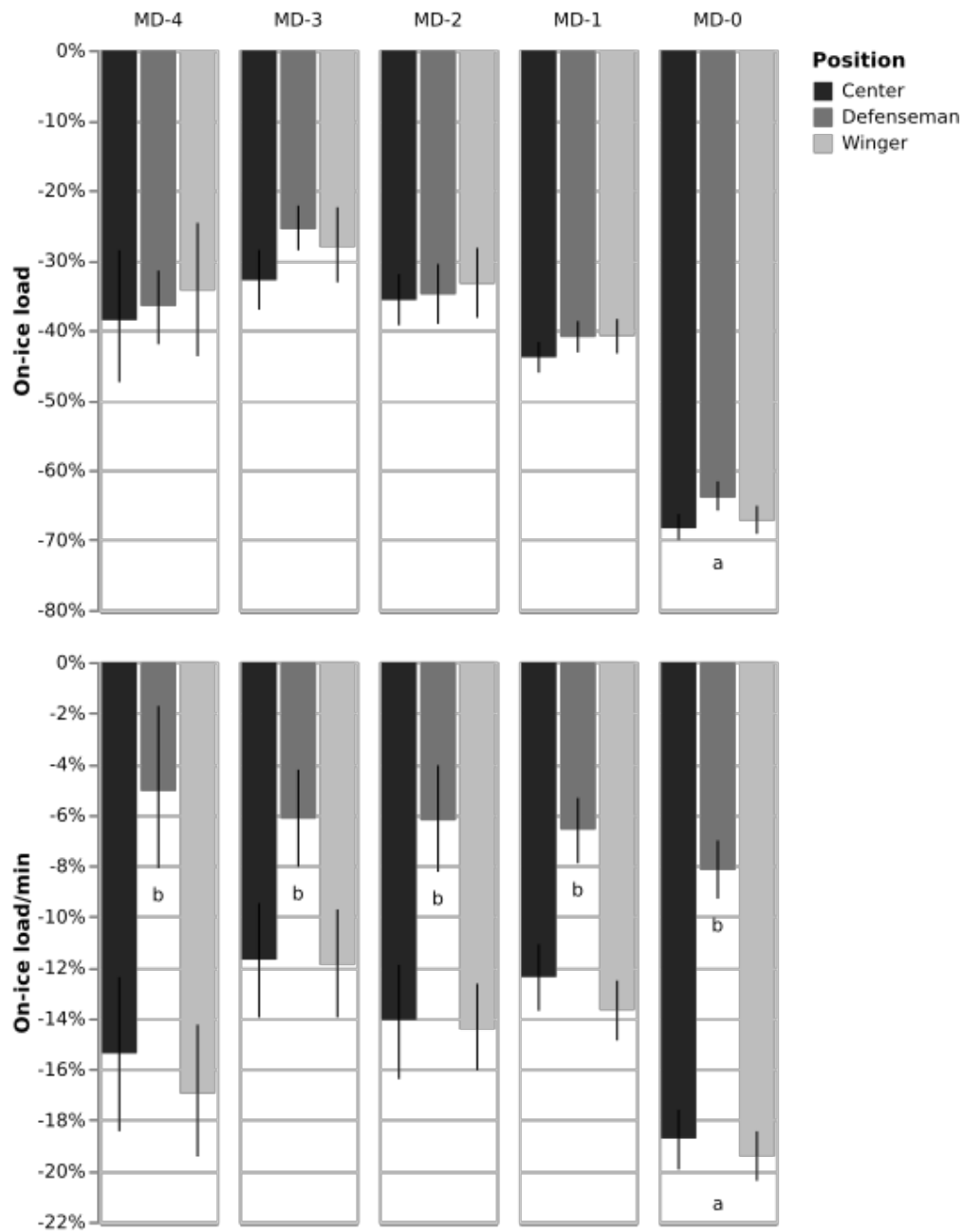


Figure 3. Relative OIL (top) and OIL/min (bottom) by position and training day (columns) with 95%-confidence-interval (error bars). All values are expressed as the relative difference to the season positional average match value. MD-0 training sessions have a lower relative OIL and OIL/min than those performed on other days (indicated by a), and defensemen have a higher OIL/min than wingers and centers (indicated by b).

Relative Weekly Cumulative Load by Month and Players Position

There is no significant interaction between position and month ($p>0.05$) in the number of game equivalent played by week. Similarly, neither the effects of month nor position reach significance ($p>0.05$). Thus, the weekly load remains relatively constant throughout the season, corresponding to an equivalent of 3.56 ± 1.69 matches played per week, regardless of the position.

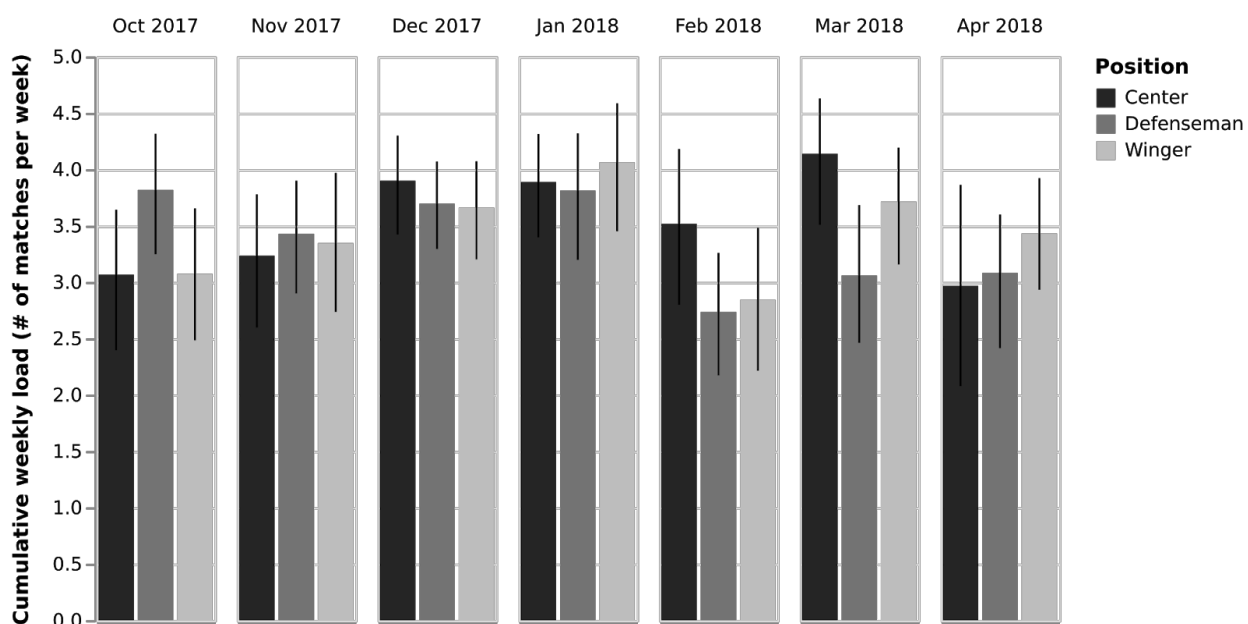


Figure 4. Number of game equivalent played per week by position and month (columns) with 95%-confidence-interval (error bars). Weekly load is computed relative to the season positional average match load.

Discussion

The present study is the first to report and compare EL in professional ice hockey players during a regular season of the AHL, both between player position and days leading to matches.

Match on-ice load and on-ice load/min

Based on similar findings in other sports (Cummins et al., 2013; Di Salvo et al., 2010), we first hypothesized that OIL and OIL/min will be different during matches depending on the position of the players. Consistent with this first hypothesis, we observed positional differences for the match absolute OIL/min. Indeed, our results show that wingers and centers have an absolute intensity higher than defensemen. A defenseman's typical time on ice has a higher number of shifts during the game (20.7 ± 2.3 vs 15.3 ± 2.2 for forwards), with an average speed on the ice that is 61.6% of the forwards' (Green et al., 1976)). Furthermore, the match average OIL for defensemen is similar compared to the wingers and centers, even though their OIL/min is significantly lower. This could be explained by the fact that, overall, they have more playing time since they rotate more (3 pairs of defensemen vs. 4 lines of forwards) and have a greater average shift duration than forwards (Green et al., 1976).

As previously described, the on-ice tasks are inherently different among the three positions. The following analyses will therefore be described according to relative scores normalized based on the match sessions averaged by position over the whole season. In a recent paper, Brocherie and al. (2018) reported a decrease in the number and duration of high intensity skating activities during the third period compared to the first one. In accordance with this study, our results show

a significant higher relative OIL during the first period and a significant lower OIL/min during the third period. While fatigue could explain this decrease in EL per period, more studies are needed to support this idea.

Pre-game training sessions on-ice load and on-ice load/min

We hypothesized that training load should be lower on training days closer to a match, as previously shown in other sports (Akenhead et al., 2016; Stevens et al., 2017). Our results show a constant load and intensity approaching match day with the exception of training sessions performed on the morning of a match. Many unknowns remain as to the optimal planning of training sessions in such dense match schedules (76 matches over the season), in addition to on-ice training sessions (98 over 28 weeks, 35 of which are morning skate sessions). Interestingly, morning skate sessions (MD-0) involve a high training load (34% of a match), which adds up to twelve extra games per season ($35 \times 0.34 \approx 12$). In other team sports such as rugby (Cummins et al., 2017), Australian football (Boyd et al., 2013; Ritchie et al., 2016) and soccer (Clemente et al., 2018), authors have not reported match-day morning sessions and as such, this appears to be a practice unique to ice hockey. Throughout the week leading to a match, defensemen achieve higher relative intensities during training sessions than forwards (wingers and centers). It is indeed more difficult to reproduce match-like situations in forwards as their absolute match intensity is about 15% higher than in defensemen. Coaches are also unlikely to demand game-like contacts, as these would increase the risk for traumatic injuries (Hootman, Dick, & Agel, 2007). Therefore, it should be noted that forwards rarely train at their average match intensity ($85 \pm 9\%$).

Weekly on-ice Load Over the Season

Based on findings reported in Dutch Football (Stevens et al., 2017), we hypothesized that the cumulative weekly training load should stay relatively stable over the course of a sport competition season. When looking at the 28 weeks of a regular season, the weekly load was

very comparable from week to week, with an equivalent of 3.56 ± 1.69 matches played. Obviously, one could say that variability is large, but the high number of players, the team personal changes, the injuries and return to play protocols could explain it. The average weekly training load was also calculated per month and split by position in order to see if there were any significant relations with either position or month. Our results do not show significant relationship between position and month in the equivalent of matches played per week. In other words, the total on-ice training load is repeated throughout the weeks; when the number of matches is lower during a week, the practice workload increases and vice versa. The busy schedule in professional ice hockey makes it difficult to implement a season periodisation for the on-ice component. The critical need of winning every game tends to force coaches to focus on the next game, which could result in changes in the periodisation.

Practical Applications

The usage of EL monitoring allows the coaching staff to objectively track the volume and intensity of work performed during training sessions and matches. This also allows better individualization of training with each player position and specific needs. Based on the results from the current study, coaches might want to consider including more game-like intensity drills during practices, especially for wingers and centers (with a decreasing volume with an approaching match). In order to reduce the weekly load on players, easier on-ice training sessions (or their removal) could also be considered on match days, unless they serve a specific purpose. Finally, medical and reconditioning staff could use the players' historical EL to design progressive return-to-play protocols, better adjusted to training and match demands.

Conclusion

This is the first investigation to report external load, measured using IMUs, during a regular season of professional hockey. Our findings show that during games, overall, wingers and centers have an absolute intensity higher than defensemen. For all positions, the relative OIL is significantly higher during the first period while a significantly lower OIL/min was observed for the third period. Throughout the week leading to a match, defensemen achieve higher relative OIL/min during training sessions than forwards (wingers and centers), and compared to previous days, relative load and intensity are lower on MD-0 training sessions. As previously reported for other sports, weekly load remains relatively constant for all positions over the 28 weeks of the season. Finally, the findings of this study show that monitoring external workloads should be common practice in professional hockey as the information provided is invaluable to plan and perform at a high level.

References

- Abbott, W., Brickley, G., & Smeeton, N. J. (2018). Physical demands of playing position within English Premier League academy soccer. *Journal of Human Sport and Exercise*, 13(2), 285–295.
- Akenhead, R., Harley, J. A., & Tweddle, S. P. (2016). Examining the External Training Load of an English Premier League Football Team With Special Reference to Acceleration. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 30(9), 2424–2432.
- Barrett, S., Midgley, A. W., Towlson, C., Garrett, A., Portas, M., & Lovell, R. (2016). Within-Match PlayerLoad™ Patterns During a Simulated Soccer Match: Potential Implications for Unit Positioning and Fatigue Management. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(1), 135–140.
- Boyd, L. J., Ball, K., & Aughey, R. J. (2013). Quantifying external load in Australian football matches and training using accelerometers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(1), 44–51.
- Bracko, M. R., Fellingham, G. W., Hall, L. T., Fisher, A. G., & Cryer, W. (1998). Performance skating characteristics of professional ice hockey forwards. *Sports Medicine, Training and Rehabilitation*, 8(3), 251–263.
- Brocherie, F., Girard, O., & Millet, G. P. (2018). Updated analysis of changes in locomotor activities across periods in an international ice hockey game. *Biology of Sport / Institute of Sport*, 35(3), 261–267.

- Chambers, R., Gabbett, T. J., Cole, M. H., & Beard, A. (2015). The Use of Wearable Microsensors to Quantify Sport-Specific Movements. *Sports Medicine*, *45*(7), 1065–1081.
- Clemente, F. M., Owen, A., Serra-Olivares, J., Theodoros, P., Nikolaidis, C. M. I., & Mendes, B. (2018). Characterization of the weekly external load profile of professional soccer teams from Portugal and the Netherlands. <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0054>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, (L. Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ). Erlbaum Associates Hillsdale, NJ.
- Cummins, C., McLean, B., Halaki, M., & Orr, R. (2017). Positional Differences in External On-Field Load During Specific Drill Classifications Over a Professional Rugby League Preseason. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(6), 764–776.
- Cummins, C., Orr, R., O'Connor, H., & West, C. (2013). Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports Medicine*, *43*(10), 1025–1042.
- Di Salvo, V., Baron, R., González-Haro, C., Gormasz, C., Pigozzi, F., & Bachl, N. (2010). Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. *Journal of Sports Sciences*, *28*(14), 1489–1494.
- Donaldson, L., Li, B., & Cusimano, M. D. (2014). Economic burden of time lost due to injury in NHL hockey players. *Injury Prevention: Journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, *20*(5), 347–349.
- Eckard, T. G., Padua, D. A., Hearn, D. W., Pexa, B. S., & Frank, B. S. (2018). The Relationship Between Training Load and Injury in Athletes: A Systematic Review. *Sports Medicine*, *48*(8), 1929–1961.
- Goldstein, H. (2011). *Multilevel Statistical Models*. John Wiley & Sons.

- Green, H., Bishop, P., Houston, M., McKillop, R., Norman, R., & Stothart, P. (1976). Time-motion and physiological assessments of ice hockey performance. *Journal of Applied Physiology*, *40*(2), 159–163.
- Hootman, J. M., Dick, R., & Agel, J. (2007). Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives. *Journal of Athletic Training*, *42*(2), 311–319.
- Jennings, D., Cormack, S., Coutts, A. J., Boyd, L. J., & Aughey, R. J. (2010). Variability of GPS units for measuring distance in team sport movements. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *5*(4), 565–569.
- Luteberget, L. S., Holme, B. R., & Spencer, M. (2018). Reliability of Wearable Inertial Measurement Units to Measure Physical Activity in Team Handball. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(4), 467–473.
- Montgomery, D. L. (1988). Physiology of ice hockey. *Sports Medicine*, *5*(2), 99–126.
- Montgomery, P. G., Pyne, D. B., & Minahan, C. L. (2010). The physical and physiological demands of basketball training and competition. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *5*(1), 75–86.
- Ritchie, D., Hopkins, W. G., Buchheit, M., Cordy, J., & Bartlett, J. D. (2016). Quantification of Training and Competition Load Across a Season in an Elite Australian Football Club. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(4), 474–479.
- Roell, M., Roecker, K., Gehring, D., Mahler, H., & Gollhofer, A. (2018). Player Monitoring in Indoor Team Sports: Concurrent Validity of Inertial Measurement Units to Quantify Average and Peak Acceleration Values. *Frontiers in Physiology*, *9*, 69.

- Schutz, Y., & Chambaz, A. (1997). Could a satellite-based navigation system (GPS) be used to assess the physical activity of individuals on earth? *European Journal of Clinical Nutrition*, *51*(5), 338–339.
- Scott, M. T. U., Scott, T. J., & Kelly, V. G. (2016). The Validity and Reliability of Global Positioning Systems in Team Sport: A Brief Review. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, *30*(5), 1470–1490.
- Stevens, T. G. A., de Ruiter, C. J., Twisk, J. W. R., Savelsbergh, G. J. P., & Beek, P. J. (2017). Quantification of in-season training load relative to match load in professional Dutch Eredivisie football players. *Science and Medicine in Football*, *1*(2), 117–125.
- Van Iterson, E. H., Fitzgerald, J. S., Dietz, C. C., Snyder, E. M., & Peterson, B. J. (2017). Reliability of Triaxial Accelerometry for Measuring Load in Men’s Collegiate Ice Hockey. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, *31*(5), 1305–1312.
- Varley, M. C., Fairweather, I. H., & Aughey, R. J. (2012). Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *Journal of Sports Sciences*, *30*(2), 121–127.
- Wik, E. H., Luteberget, L. S., & Spencer, M. (2017). Activity Profiles in International Women’s Team Handball Using PlayerLoad. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(7), 934–942.

Chapitre 5: Discussion générale

Dans la présente étude, nous avons objectivement quantifié et comparé la charge externe des journées d'entraînement et des matchs d'une l'équipe professionnelle de hockey sur glace pendant une saison régulière complète de la Ligue Américaine de Hockey (LAH). Nos résultats montrent qu'il est possible, à partir des données de matchs, de rapporter les charges et intensités relatives des entraînements. Nous avons, dans l'analyse de la tâche du joueur, mesuré la variation des demandes non seulement inter-position, mais également intra-position pendant les entraînements et matchs. Les grands écarts-types observés pour une même position montrent que certains joueurs ont une présence sur la glace plus importante que d'autres et que, conséquemment, ils accumulent des charges plus élevées. Au cours de cette discussion, je tenterai d'énumérer les enjeux de l'utilisation de la charge externe sur l'individualisation, l'interprétation et la communication des résultats dans un contexte d'équipe professionnelle sportive.

5.1 Individualisation du suivi de la charge externe

Lors de notre recherche, les participants ont été répartis en trois groupes selon leurs positions, soit défenseur, centre ou ailier. Par contre, lors de nos analyses statistiques de matchs et d'entraînements, nous avons constaté qu'il y avait un grand écart-type intra-position. Selon les études rapportées au point 2.1, le suivi de la charge externe devrait être fait sur une base individuelle. Nous avons donc par la suite repris les données des charges cumulatives hebdomadaires relatives aux matchs et créé un graphique pour chacun des joueurs (voir figure

15). Ainsi, selon le nombre de matchs réel que le joueur a joué lors de la semaine, il est plus facile de voir si la charge de travail cumulative est adéquate pour le joueur. De plus, en ajoutant la moyenne et l'écart-type individuel, nous sommes alors en mesure de prendre de meilleures décisions à savoir si le joueur a une charge de travail trop basse ou trop élevée en fonction de ses propres données. En analysant la figure 15, on peut voir qu'il y a des réalités différentes pour chacun. Ainsi, les joueurs 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 16, 17, 18 sont des joueurs réguliers de l'équipe qui n'ont pas été blessés. Les joueurs 14 et 15 sont des joueurs non partants qui ont joué moins de matchs. Les joueurs 5, 9, 19 et 20 ont été blessés au cours de la saison et le joueur 12 a été rappelé par le Canadien pour quelques semaines. Mis à part les joueurs rappelés par le Canadien, nous sommes en mesure de voir qu'il y a trois grandes catégories de joueurs soit joueur partant, non-partant et joueur blessé.

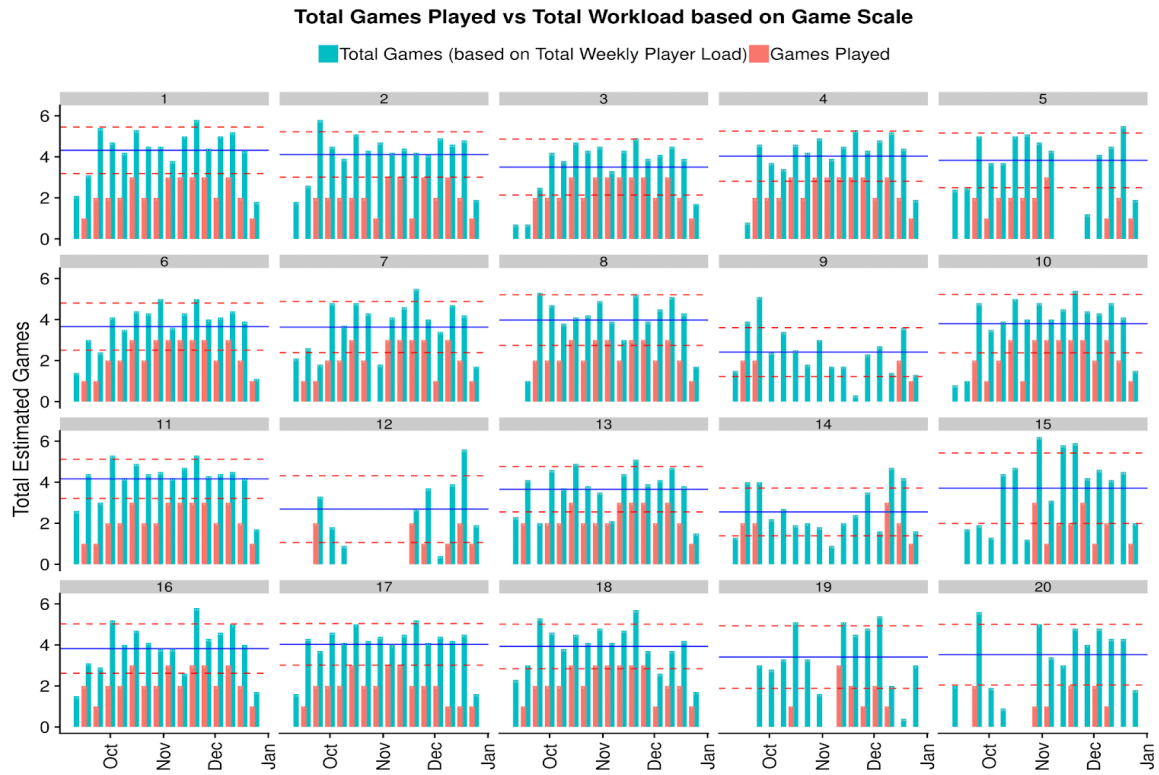


Figure 15. Exemple de charge hebdomadaire cumulative exprimée en nombre de matchs par semaine et par joueur (numérotés de 1 à 20) pour la période de septembre à fin décembre. Les colonnes rouges représentent le nombre de matchs joués par les joueurs et les colonnes bleues le nombre de matchs cumulés avec les entraînements de la semaine, Les lignes horizontales bleues représentent la moyenne individuelle et les lignes horizontales hachurées en rouges représentent l'écart-type individuel.

5.1.1 Utilité de mesurer la charge externe des joueurs non partants

Nous avons vu qu'au cours d'une saison de hockey de la LAH, il y a beaucoup de changements de joueurs. Par contre, les équipes doivent habiller 18 joueurs plus 2 gardiens pour chacun des matchs, ce qui fait en sorte que certains joueurs non-partants jouent très peu et doivent s'entraîner beaucoup plus pour pallier au manque de compétitions. De plus, l'étude de Stevens et coll. (2017) a montré que les joueurs non-partants ont tendance à avoir des charges hebdomadaires moins élevées que les joueurs partants (jusqu'à -30 % selon les variables). Lors de notre étude, nous avons montré qu'il est difficile, surtout pour les attaquants, d'atteindre des intensités de match lors des entraînements. Le fait d'utiliser l'accélérométrie afin de mesurer la charge externe permet de développer une stratégie pour les joueurs remplaçants et ainsi développer des exercices qui permettent de recréer des intensités de match lors des entraînements. Ainsi, en mesurant la charge externe des joueurs partants et non-partants le scientifique du sport peut s'assurer que tous les joueurs atteignent leurs charges d'entraînement optimales sans créer de surmenage.

5.1.2 Le suivi de la charge externe dans le retour au jeu post-blessure

Dans un contexte de sport professionnel, il y a beaucoup de pression pour qu'un joueur blessé revienne rapidement au jeu. La situation contractuelle du joueur, les défaites de l'équipe, la position au classement et le coût des blessures ne sont qu'une partie des contraintes pour les joueurs et les dirigeants (Donaldson, Li, & Cusimano, 2014; Warnock, 2018). Par conséquent, il y a beaucoup de bénéfices à utiliser l'accélérométrie dans le but de faire le suivi individualisé de la charge externe, ne serait-ce que pour les retours au jeu des joueurs à la suite de blessures. À partir des informations acquises des accéléromètres lors des journées d'entraînements et de matchs, les différents intervenants peuvent mettre en place une progression basée sur des

données objectives avec des bases scientifiques. Pour Blanch et coll. (2016), le retour au jeu est basé sur le ratio de la charge aiguë et chronique du joueur lors des semaines d'entraînement précédent le retour au jeu. Cette information est comparée aux demandes d'une semaine de compétition normale pour le même joueur. Ce modèle a été initialement proposé par Calvert et coll. (1975) et Banister et coll. (1980). Les informations de la charge externe hebdomadaire recueillies lorsque le joueur était en santé sont alors utilisées pour mesurer sa progression. En connaissant les demandes physiques lors des matchs, il devient alors plus facile de mettre en place une progression. Blanch et coll. (2016) utilisent une grille de probabilité de blessure provenant d'études faites sur trois sports (cricket, rugby et football Australien) pour estimer la probabilité de l'athlète de se blesser la semaine suivant son retour au jeu (voir tableau 14). Ce qui est intéressant avec cette approche, c'est qu'elle permet de combiner l'analyse notationnelle (nombre de mises en échec, temps de jeu du joueur, nombre de présences sur la glace, etc.), les données d'accélérométrie (PlayerLoad™ du joueur en situation de match et d'entraînement) et la science (incidences de blessures selon le ratio aiguë et chronique de l'athlète) afin de prendre une meilleure décision sur le retour au jeu du joueur. L'athlète se sent alors accompagné dans son programme de retour au jeu et est en mesure de connaître exactement ce qu'il doit accomplir comme charge de travail ainsi que l'intensité demandée pour y parvenir. Il y a un effet de motivation et aussi de confiance envers le processus qui rend la démarche beaucoup plus professionnelle. Il en va de la responsabilité des intervenants en santé (médecins, scientifiques du sport, kinésiologues et thérapeutes) d'apporter des arguments basés sur des données objectives et scientifiques. Bien que notre étude ne prend pas en compte les joueurs blessés et les retours au jeu, plus de travaux devront être effectués pour explorer l'incidence de blessures selon la charge externe des joueurs de hockey sur glace.

Chronic workload (% of normal average)	110	4.7	4.1	3.6	3.4	3.2	3.3	3.5
	100	4.3	3.7	3.4	3.3	3.3	3.6	4.0
	90	3.9	3.5	3.3	3.3	3.6	4.2	4.9
	80	3.5	3.3	3.3	3.7	4.3	5.3	6.6
	70	3.3	3.3	3.7	4.6	5.8	7.5	9.5
	60	3.3	3.8	4.9	6.6	8.8	11.6	14.9
	50	4.0	5.5	7.9	11.0	14.9	19.6	25.1
	40	6.6	10.1	14.9	20.9	28.2	36.7	46.5
	30	14.9	23.2	33.7	46.5	61.4	78.6	98.0
			60	70	80	90	100	110
		Acute workload (% of normal average)						

Tableau XIV. Tiré de Blach et coll. (2016). Probabilité de blessure en utilisant l'équation de charge de travail aiguë et chronique. Par exemple, si un athlète retourne au jeu avec une semaine de charge externe à 100 % (charge de travail aiguë dans l'axe des y), mais qu'au cours des 4 dernières semaines, dû à sa blessure, son travail n'a représenté que 40 % de sa charge normale (charge de travail chronique dans l'axe des x), on peut s'attendre à ce que la probabilité de se blesser la semaine suivante soit de 28 %.

5.2 Potentiel encore inexploité lié à la mesure de la charge externe

Pour notre étude, nous avons utilisé les données du OIL et du OIL/min. Ces données proviennent directement du PlayerLoad™ et ont fait l'objet de plusieurs recherches qui démontrent la validité des résultats. Par contre, plusieurs autres données ont été récupérées et analysées lors de notre recherche. Certaines données présentées à la figure 16 mériteraient un peu plus d'attention, et des analyses de validité et fiabilité pourraient faire l'objet de recherches. Avec les données d'accélérométrie et à partir de critères pré-définis, il a été possible de créer certaines variables. Ainsi, l'algorithme de Catapult permet de calculer le nombre total de poussées sur la glace et de classer les accélérations enregistrées en type d'efforts allant de repos à mouvement de faible intensité, mouvement de moyenne intensité et mouvement de haute intensité. La validation de ces variables permettrait d'ajouter plus de science derrière le suivi de la charge externe au hockey sur glace.

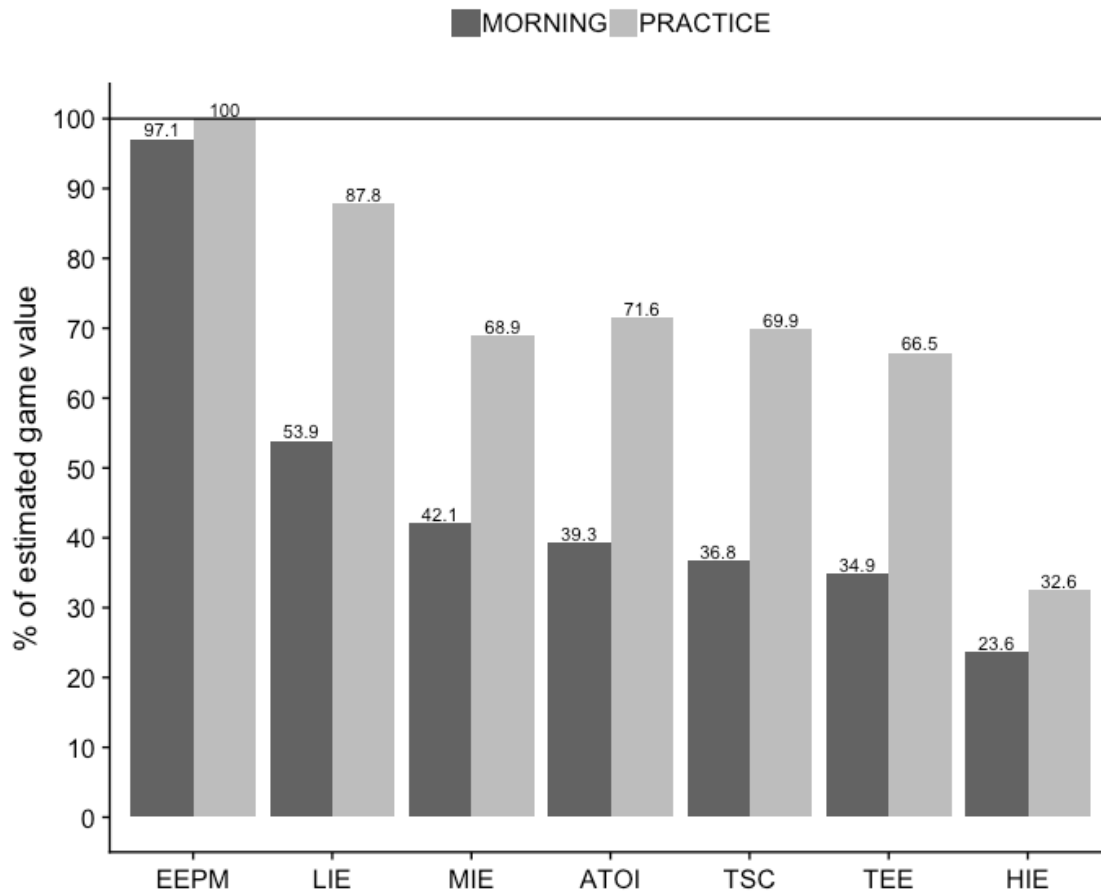


Figure 16. Pourcentages estimés des entraînements réguliers, en gris pâle, et des entraînements le jour de match, en gris foncé, relatif aux valeurs de matchs (saison 2017-18). EEPM (*Explosive Efforts Per Minute*) = Nombre d'efforts explosifs par minutes, LIE (*Low Intensity Efforts*) = Efforts de faible intensité, MIE (*Medium Intensity Efforts*) = Efforts de moyennes intensités, ATOI (*Active Time On Ice*) = Temps actif sur la glace, TSC (*Total Stride Count*) = Nombre total de foulées, TEE (*Total Explosive Efforts*) = Nombre total d'efforts explosifs, HIE (*High Intensity Efforts*) = efforts de haute intensité.

5.3 Les contraintes associées à la mise en place d'un suivi de l'entraînement au hockey professionnel

Le suivi de la charge externe dans un milieu de sport collectif professionnel vient avec son lot de défis à tous les niveaux. Avec le transport, les changements d'horaires de dernière minute et les humeurs qui varient selon les victoires et les défaites, il y a parfois des moments où j'ai cru que le projet n'allait jamais pouvoir se terminer. Au-delà de la science et de toutes les recherches sur la charge et les demandes du hockey sur glace, il ne faut jamais oublier que nous travaillons avec des êtres humains et que le but ultime est de les aider à performer au meilleur de leurs capacités tout en les maintenant en bonne santé.

Cela fait bientôt deux ans que le département de Science du sport et des performances a été créé dans l'organisation du Canadien de Montréal. Il y a eu beaucoup de travail fait en amont lors des trois années précédant l'implantation du département; nous en sommes maintenant à la troisième année du suivi de la charge externe avec l'accélérométrie. La première année fut une année d'apprentissage du système. L'intégration s'est faite sur une base volontaire, ce qui nous a permis de nous familiariser avec le système et de raffiner nos connaissances sur le suivi de la charge externe dans un contexte d'équipe. Cette première année nous a également permis de mieux planifier la mise en place de notre étude à venir. Lors de la deuxième année, le système fut intégré en sa totalité avec les joueurs du Canadien ainsi que ceux du Rocket de Laval. Les données des matchs et d'entraînements de près de 70 joueurs ont été recueillies et analysées. Notre compréhension des exigences physiques des joueurs s'est grandement enrichie, ce qui nous a permis de mieux gérer les retours au jeu des joueurs blessés ainsi que les charges et

intensités des entraînements des joueurs remplaçants. Suite à notre recherche de la dernière saison, nous avons rencontré entraîneurs et joueurs pour leur faire part de nos résultats (voir article) et de nos méthodes d'intégration dans notre suivi quotidien de l'organisation. Leur réponse fut très positive, elle nous a permis de travailler en direct sur le banc lors des entraînements et de donner des rétroactions sur la charge et l'intensité des entraînements en temps réel aux entraîneurs et joueurs.

Lors de notre cueillette de données avec le Rocket de Laval, nous avons également mis en place un suivi de la charge interne, qui consistait pour les joueurs à répondre quotidiennement à un questionnaire, envoyé par texto à la même heure tous les jours, sur la durée et l'intensité des entraînements ou matchs ainsi qu'un questionnaire de suivi de santé. L'expérience fut un défi de toutes parts. Bien que quelques joueurs aient pris l'habitude de répondre avec assiduité, le questionnaire fut perçu comme une contrainte par la majorité. Certains étaient craintifs de partager des informations personnelles telles que leur niveau de fatigue ou leur perception de l'effort, de peur que ces informations soient utilisées contre eux (temps de jeu réduit, mis à l'écart d'un match, etc.). Les joueurs étant relativement habitués à traiter avec des informations sur leur performance sur glace (par ex. temps de jeu, nombre de tirs, nombre de mises en échec, revirements), la quantification de leur travail sur glace avec l'accélérométrie a permis une transition plus facile. Le partage d'informations des joueurs sur leur bien-être était complètement nouveau pour eux et c'est probablement une des raisons qui les a rendus un peu sceptiques. Dans un monde idéal, les informations de charge interne auraient été combinées au travail accompli sur la glace, ce qui aurait permis de planifier et d'ajuster la charge d'entraînement plus efficacement, tel que rapporté par (Ritchie, Hopkins, Buchheit, Cordy, &

Bartlett, 2016). De plus, nous devons constamment rappeler aux joueurs de remplir leur journal. Nous avons même dû changer l'heure de l'envoi du texte et tenté de remplir le questionnaire avec eux, lorsque cela était possible. L'implication d'un tel suivi nous a demandé beaucoup de temps et de patience. Par contre, l'expérience fut très positive pour les joueurs ayant participé au suivi de la charge interne, surtout lors de retour au jeu suite à une blessure.

L'expérience fut très enrichissante, et m'a permis de découvrir une autre facette de l'industrie du hockey sur glace. Il y a encore beaucoup de travail à accomplir pour que le suivi des joueurs devienne une partie intégrante de leur quotidien. Cette implantation doit se faire progressivement et permettre aux joueurs, entraîneurs et dirigeants de se familiariser avec les données scientifiques du sport. Le scepticisme de certains joueurs m'a permis de raffiner mon message afin de mieux expliquer aux joueurs les raisons pour lesquelles nous implantons le suivi; la communication avec les différents intervenants prenant alors toute son importance.

5.4 Savoir, savoir-faire et savoir-être

La façon dont le scientifique communique l'information aux différents intervenants est d'une importance capitale et peut être vue comme une discipline en soi. Dans leur étude, Krkeljas et coll. (2017) ont demandé à 22 entraîneurs (6 rugby; 3 cricket; 5 football; 3 hockey; 5 netball) et 26 athlètes (5 rugby; 6 cricket; 6 football; 6 hockey; 3 netball) de remplir un questionnaire évaluant leurs connaissances, leur compréhension et l'utilité perçue de la science du sport. Selon les résultats de cette recherche, près de 82 % des entraîneurs et 88 % des athlètes ont trouvé la science du sport utile ou très utile dans l'entraînement et la performance sportive; les obstacles

communs à l'intégration de la science du sport à la pratique étaient le coût, le langage utilisé dans la littérature scientifique et la communication entre les scientifiques du sport et les entraîneurs. Le choix des mots et des graphiques utilisés et la manière de les partager peuvent avoir des conséquences graves (Torres-Ronda & Schelling, 2017). Ainsi, si l'information transmise à un entraîneur est utilisée pour ne pas faire jouer un joueur, cela peut mettre en péril tout le travail de confiance mis en place avec les joueurs. Ce lien de confiance est très fragile et se base sur la conviction du joueur que le suivi auquel il consent durant la saison permet de le garder en santé et de l'amener à performer à son meilleur soir après soir.

5.5 Futur du hockey sur glace

Le hockey sur glace professionnel est un milieu très traditionnel. La hiérarchie fait en sorte que la plupart du temps, les joueurs deviennent des entraîneurs, qui deviennent par la suite des dirigeants d'équipe. Il y a beaucoup de réticence de part et d'autre (joueurs et dirigeants) à l'intégration de la science dans leur milieu, par crainte de voir les informations recueillies (par ex. historique de blessures, longévité de carrière, pic de performance passé) être utilisées afin de négocier des contrats à la baisse. Pour cette raison, certaines restrictions imposées par la LNH et par l'association des joueurs de la LNH ne permettent pas le port de centrale inertielle ou de toute autre technologie portable lors des matchs de hockey de la LNH, ce qui limite pour l'instant la compréhension de la charge externe réelle des joueurs. Elle peut toutefois être calculée par notation, en utilisant les statistiques fournies par la ligue. Ces restrictions imposées par la LNH ne s'appliquent toutefois pas en situation d'entraînement. Il est donc possible de

faire le suivi de la charge externe en utilisant l'accélérométrie lors des séances d'entraînement. En contrepartie, aucune restriction ne s'applique en ce qui a trait au suivi de match et d'entraînement des clubs de la ligue américaine de hockey LAH, club-écoles des équipes de la LNH, ce qui permet d'obtenir des données d'accélérométrie en situation de match et d'entraînement. Plusieurs défis se dessinent à l'horizon pour les scientifiques du hockey. Bien que le hockey sur glace soit passé à travers plusieurs changements au cours de son histoire, il n'en demeure pas moins que les avancées technologiques ont principalement bénéficié au développement de l'équipement des joueurs et à la prévention des blessures. Par contre, il y a un certain engouement de la part des dirigeants de la LNH envers les nouvelles technologies et certains changements sont à prévoir pour la saison 2019-20. La LNH étudie de près la possibilité de mettre en place un suivi de reconnaissance de mouvements par caméra, cette ouverture semble être le reflet de ce qui se passe dans d'autres ligues sportives nord-américaines. McLean et coll. (2018) rapportent dans leur étude les contraintes et défis de mettre en place le système de suivi optique dans la *National Basketball Association* (NBA). L'association des joueurs, la *National Basketball Player Association* (NBPA), et les dirigeants de la NBA se sont mis en accord pour utiliser les informations à des fins commerciales et de recherches. Pour la NBA cette ouverture permettra de mieux comprendre les demandes physiques des joueurs lors des matchs. Le fait de rendre cette information publique ouvre la porte à l'utilisation des données à des fins de recherche pour améliorer la santé des joueurs et élargir les connaissances médicales. Avec l'avènement de l'ère de l'intelligence informatique, de l'apprentissage profond et de la reconnaissance de mouvements par caméra, les scientifiques du sport seront également en mesure de mieux connaître les charges externes des joueurs en situation de match et d'entraînement. En combinant toutes ces technologies, les clubs pourront mieux gérer les

charges de travail imposées aux joueurs et également développer de nouvelles stratégies de match pour contrer l'adversaire (Stein et al., 2018, 2017). En suivant de près ce que d'autres sports collectifs ont réussi à mettre en place au cours des dernières années (rugby, soccer), il m'apparaît raisonnable de penser que le hockey sur glace passera par cette transition également.

Bibliographie

- Abbott, W., Brickley, G., & Smeeton, N. J. (2018). Physical demands of playing position within English Premier League academy soccer. *Journal of Human Sport and Exercise*, 13(2), 285-295.
- Akenhead, R., Harley, J. A., & Tweddle, S. P. (2016). Examining the External Training Load of an English Premier League Football Team With Special Reference to Acceleration. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 30(9), 2424-2432.
- Banister, E. W. (1991). Modeling elite athletic performance. *Physiological testing of elite athletes*, 403, 424.
- Banister, E. W., & Calvert, T. W. (1980). Planning for future performance: implications for long term training. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences. Journal Canadien Des Sciences Appliquees Au Sport*, 5(3), 170-176.
- Banister, E. W., Calvert, T. W., Savage, M. V., & Bach, T. (1975). A systems model of training for athletic performance. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*, 7(3), 57-61.
- Barrett, S., Midgley, A., & Lovell, R. (2014). PlayerLoad™: reliability, convergent validity, and influence of unit position during treadmill running. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 945-952.
- Barrett, S., Midgley, A. W., Towlson, C., Garrett, A., Portas, M., & Lovell, R. (2016). Within-Match PlayerLoad™ Patterns During a Simulated Soccer Match: Potential Implications

- for Unit Positioning and Fatigue Management. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(1), 135-140.
- Barris, S., & Button, C. (2008). A review of vision-based motion analysis in sport. *Sports Medicine*, 38(12), 1025-1043.
- Bastianelli, B., Stojanov, D., Burke, D., Workman, A., Martel, K., & McGregor, S. (2018). Season Long Changes in Training Load Metrics for a World Champion Youth Ice-Hockey Team: 2188 Board #24 June 1 930 AM - 1100 AM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(5S), 531.
- Blanch, P., & Gabbett, T. J. (2016). Has the athlete trained enough to return to play safely? The acute:chronic workload ratio permits clinicians to quantify a player's risk of subsequent injury. *British Journal of Sports Medicine*, 50(8), 471-475.
- Borg, G. (1998). *Borg's Perceived Exertion and Pain Scales*. Human Kinetics.
- Boyd, L. J., Ball, K., & Aughey, R. J. (2011). The reliability of MinimaxX accelerometers for measuring physical activity in Australian football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(3), 311-321.
- Boyd, L. J., Ball, K., & Aughey, R. J. (2013). Quantifying external load in Australian football matches and training using accelerometers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(1), 44-51.
- Brocherie, F., Girard, O., & Millet, G. P. (2018). Updated analysis of changes in locomotor activities across periods in an international ice hockey game. *Biology of Sport / Institute of Sport*, 35(3), 261-267.

- Cardinale, M., & Varley, M. C. (2017). Wearable Training-Monitoring Technology: Applications, Challenges, and Opportunities. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(Suppl 2), S255-S262.
- Clemente, F. M., Owen, A., Serra-Olivares, J., Theodoros, P., Nikolaidis, C. M. I., & Mendes, B. (2018). Characterization of the weekly external load profile of professional soccer teams from Portugal and the Netherlands. <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0054>
- Colby, M. J., Dawson, B., Heasman, J., Rogalski, B., & Gabbett, T. J. (2014). Accelerometer and GPS-derived running loads and injury risk in elite Australian footballers. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, *28*(8), 2244-2252.
- Cox, M. H., Miles, D. S., Verde, T. J., & Rhodes, E. C. (1995). Applied physiology of ice hockey. *Sports Medicine*, *19*(3), 184-201.
- Cummins, C., McLean, B., Halaki, M., & Orr, R. (2017). Positional Differences in External On-Field Load During Specific Drill Classifications Over a Professional Rugby League Preseason. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(6), 764-776.
- Depken, C. A., Groothuis, P. A., & Strazicich, M. C. (2018). *Evolution of a Social Norm: The Rise and Fall of the Enforcer in the National Hockey League*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2831565>
- Di Salvo, V., Baron, R., González-Haro, C., Gormasz, C., Pigozzi, F., & Bachl, N. (2010). Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. *Journal of Sports Sciences*, *28*(14), 1489-1494.

- Donaldson, L., Li, B., & Cusimano, M. D. (2014). Economic burden of time lost due to injury in NHL hockey players. *Injury Prevention: Journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, 20(5), 347-349.
- Ferguson, R. J., Marcotte, G. G., & Montpetit, R. R. (1969). A maximal oxygen uptake test during ice skating. *Medicine and Science in Sports*, 1(4), 207-211.
- Foster, C. (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(7), 1164-1168.
- Foster, C., Hector, L. L., Welsh, R., Schrage, M., Green, M. A., & Snyder, A. C. (1995). Effects of specific versus cross-training on running performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 70(4), 367-372.
- Franks, I., & Hughes, M. (2004). *Notational Analysis of Sport: Systems for Better Coaching and Performance in Sport*. Routledge.
- Frencken, W. G. P., Lemmink, K. A. P. M., & Delleman, N. J. (2010). Soccer-specific accuracy and validity of the local position measurement (LPM) system. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 13(6), 641-645.
- Gabbett, T. J. (2013). Quantifying the physical demands of collision sports: does microsensor technology measure what it claims to measure? *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 27(8), 2319-2322.
- Gade, R., & Moeslund, T. B. (2018). Constrained multi-target tracking for team sports activities. *IPSI Transactions on Computer Vision and Applications*, 10(1), 2.
- Green, H., Bishop, P., Houston, M., McKillop, R., Norman, R., & Stothart, P. (1976). Time-motion and physiological assessments of ice hockey performance. *Journal of Applied Physiology*, 40(2), 159-163.

- Green, H. J., Daub, B. D., Painter, D. C., & Thomson, J. A. (1978). Glycogen depletion patterns during ice hockey performance. *Medicine and Science in Sports*, 10(4), 289-293.
- Green, H. J., & Houston, M. E. (1975). Effect of a season of ice hockey on energy capacities and associated functions. *Medicine and Science in Sports*, 7(4), 299-303.
- Guay, D. (1989). Les Origines du Hockey. *Canadian journal of history of sport = Revue canadienne de l'histoire des sports*, 20(1), 32-46.
- Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, 44 Suppl 2(S2), S139-S147.
- Hopkins, W. G. (1991). Quantification of Training in Competitive Sports. *Sports Medicine*, 12(3), 161-183.
- Hoppe, M. W., Baumgart, C., Polglaze, T., & Freiwald, J. (2018). Validity and reliability of GPS and LPS for measuring distances covered and sprint mechanical properties in team sports. *PloS One*, 13(2), 1-21.
- Janes, J. M. (1962). Ice-hockey injuries. *Clinical Orthopaedics*, 23, 67-74.
- Jennings, D., Cormack, S., Coutts, A. J., Boyd, L. J., & Aughey, R. J. (2010). Variability of GPS units for measuring distance in team sport movements. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(4), 565-569.
- Johnston, R. J., Watsford, M. L., Pine, M. J., Spurr, R. W., Murphy, A. J., & Pruyn, E. C. (2012). The validity and reliability of 5-Hz global positioning system units to measure team sport movement demands. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 26(3), 758-765.

- Jones, C. M., Griffiths, P. C., & Mellalieu, S. D. (2016). Training Load and Fatigue Marker Associations with Injury and Illness: A Systematic Review of Longitudinal Studies. *Sports medicine* , 1-32.
- Kang, J., Cohen, I., & Medioni, G. (2003). Soccer player tracking across uncalibrated camera streams. In *Joint IEEE International Workshop on Visual Surveillance and Performance Evaluation of Tracking and Surveillance*.
- Kraus, J. F., Anderson, B. D., & Mueller, C. E. (1970). The effectiveness of a special ice hockey helmet to reduce head injuries in college intramural hockey. *Medicine and Science in Sports*, 2(3), 162-164.
- Kristan, M., Perš, J., Perše, M., Bon, M., & Kovacic, S. (2005). Multiple interacting targets tracking with application to team sports. In *International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis* (p. 322-327).
- Krkelj, Z., Tate, R. A., Vermeulen, N. J., & Terblanche, E. (2017). Perceptions of sport science relevance and application among South African coaches and athletes. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 39(2), 101-114.
- Léger, L. (1975). LE HOCKEY: LES SOURCES D'ÉNERGIE. *Mouvement*, 10, 245-253.
- Leger, L. (1980). Le hockey sur glace. *Physiologie appliquée de l'activité physique*, 9, 115-129.
- Luteberget, L. S., Holme, B. R., & Spencer, M. (2018). Reliability of Wearable Inertial Measurement Units to Measure Physical Activity in Team Handball. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(4), 467-473.

- Luteberget, L. S., Spencer, M., & Gilgien, M. (2018). Validity of the Catapult ClearSky T6 Local Positioning System for Team Sports Specific Drills, in Indoor Conditions. *Frontiers in Physiology*, 9, 115.
- McLaren, S. J., Weston, M., Smith, A., Cramb, R., & Portas, M. D. (2016). Variability of physical performance and player match loads in professional rugby union. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 19(6), 493-497.
- McLean, B. D., Strack, D., Russell, J., & Coutts, A. J. (2018). Quantifying Physical Demands in the National Basketball Association (NBA): Challenges in Developing Best-Practice Models for Athlete Care and Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1-22.
- Monier, E., Wilhelm, P., & Rückert, U. (2009). A computer vision based tracking system for indoor team sports. In *The fourth international conference on intelligent computing and information systems*.
- Montgomery, D. L. (1988). Physiology of ice hockey. *Sports Medicine*, 5(2), 99-126.
- Montgomery, D. L. (2006). Physiological profile of professional hockey players. A longitudinal comparison. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 31(3), 181-185.
- Montgomery, D. L., Nobes, K., Pearsall, D. J., & Turcotte, R. A. (2004). Task analysis (hitting, shooting, passing, and skating) of professional hockey players. In *Safety in ice hockey: fourth volume*. ASTM International.
- Montgomery, P. G., Pyne, D. B., & Minahan, C. L. (2010). The physical and physiological demands of basketball training and competition. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(1), 75-86.

- Nicolella, D. P., Torres-Ronda, L., Saylor, K. J., & Schelling, X. (2018). Validity and reliability of an accelerometer-based player tracking device. *PloS One*, *13*(2), 8-13.
- O'Hara, J. P., Brightmore, A., Till, K., Mitchell, I., Cummings, S., & Cooke, C. B. (2013). Evaluation of movement and physiological demands of rugby league referees using global positioning systems tracking. *International Journal of Sports Medicine*, *34*(9), 825-831.
- Quarrie, K. L., Raftery, M., Blackie, J., Cook, C. J., Fuller, C. W., Gabbett, T. J., ... Tucker, R. (2017). Managing player load in professional rugby union: a review of current knowledge and practices. *British Journal of Sports Medicine*, *51*(5), 421-427.
- Ritchie, D., Hopkins, W. G., Buchheit, M., Cordy, J., & Bartlett, J. D. (2016). Quantification of Training and Competition Load Across a Season in an Elite Australian Football Club. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(4), 474-479.
- Rodríguez-Martín, D., Pérez-López, C., Samà, A., Cabestany, J., & Català, A. (2013). A wearable inertial measurement unit for long-term monitoring in the dependency care area. *Sensors*, *13*(10), 14079-14104.
- Roell, M., Roecker, K., Gehring, D., Mahler, H., & Gollhofer, A. (2018). Player Monitoring in Indoor Team Sports: Concurrent Validity of Inertial Measurement Units to Quantify Average and Peak Acceleration Values. *Frontiers in physiology*, *9*, 69.
- Santiago, C. B., Sousa, A., Estriga, M. L., Reis, L. P., & Lames, M. (2010). Survey on team tracking techniques applied to sports. In *2010 International Conference on Autonomous and Intelligent Systems, AIS 2010* (p. 1-6).

- Sathyan, T., Shuttleworth, R., Hedley, M., & Davids, K. (2012). Validity and reliability of a radio positioning system for tracking athletes in indoor and outdoor team sports. *Behavior Research Methods*, 44(4), 1108-1114.
- Schutz, Y., & Chambaz, A. (1997). Could a satellite-based navigation system (GPS) be used to assess the physical activity of individuals on earth? *European Journal of Clinical Nutrition*, 51(5), 338-339.
- Scott, B. R., Lockie, R. G., Knight, T. J., Clark, A. C., & Janse de Jonge, X. A. K. (2013). A comparison of methods to quantify the in-season training load of professional soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 195-202.
- Scott, M. T. U., Scott, T. J., & Kelly, V. G. (2016). The Validity and Reliability of Global Positioning Systems in Team Sport: A Brief Review. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 30(5), 1470-1490.
- Seliger, V., Kostka, V., Grusová, D., Kovác, J., Machovcová, J., Pauer, M., ... Urbánková, R. (1972). Energy expenditure and physical fitness of ice-hockey players. *Internationale Zeitschrift Fur Angewandte Physiologie, Einschliesslich Arbeitsphysiologie*, 30(4), 283-291.
- Soares, J. (2007). Cold War, Hot Ice: International Ice Hockey, 1947-1980. *Journal of sport history*, 34(2), 207-230.
- Stein, M., Janetzko, H., Lamprecht, A., Breikreutz, T., Zimmermann, P., Goldlucke, B., ... Keim, D. A. (2018). Bring It to the Pitch: Combining Video and Movement Data to Enhance Team Sport Analysis. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(1), 13-22.

- Stein, M., Janetzko, H., Seebacher, D., Jäger, A., Nagel, M., Hölsch, J., ... Grossniklaus, M. (2017). How to Make Sense of Team Sport Data: From Acquisition to Data Modeling and Research Aspects. *Brown University Digest of Addiction Theory and Application: DATA*, 2(1), 2.
- Stelzer, A., Fischer, A., & Vossiek, M. (2004). A new technology for precise local position measurement - LPM. In *2004 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (IEEE Cat. No.04CH37535)* (Vol. 2, p. 655-658).
- Stelzer, A., Pourvoyeur, K., & Fischer, A. (2004). Concept and application of LPM - a novel 3-D local position measurement system. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, 52(12), 2664-2669.
- Stevens, T. G. A., de Ruiter, C. J., Twisk, J. W. R., Savelsbergh, G. J. P., & Beek, P. J. (2017). Quantification of in-season training load relative to match load in professional Dutch Eredivisie football players. *Science and Medicine in Football*, 1(2), 117-125.
- Stevens, T. G. A., de Ruiter, C. J., van Niel, C., van de Rhee, R., Beek, P. J., & Savelsbergh, G. J. P. (2014). Measuring Acceleration and Deceleration in Soccer-Specific Movements Using a Local Position Measurement (LPM) System. *International journal of sports physiology and performance*, 9(3), 446-456.
- Torres-Ronda, L., & Schelling, X. (2017). Critical Process for the Implementation of Technology in Sport Organizations. *Strength & Conditioning Journal*, 39(6), 54.
- Van Iterson, E. H., Fitzgerald, J. S., Dietz, C. C., Snyder, E. M., & Peterson, B. J. (2017). Reliability of Triaxial Accelerometry for Measuring Load in Men's Collegiate Ice Hockey. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 31(5), 1305-1312.

- Varley, M. C., Fairweather, I. H., & Aughey, R. J. (2012). Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *Journal of Sports Sciences, 30*(2), 121-127.
- Wagner, J. F. (2018). About Motion Measurement in Sports Based on Gyroscopes and Accelerometers—an Engineering Point of View. *Gyroscopy and Navigation, 9*(1), 1-18.
- Warnock, R. (2018). *The Effect of Injuries on Player and Team Performance: An Empirical Analysis of the Production Function in the National Hockey League*. Skidmore College.
- Wik, E. H., Luteberget, L. S., & Spencer, M. (2017). Activity Profiles in International Women's Team Handball Using PlayerLoad. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 12*(7), 934-942.
- Wundersitz, D. W. T., Gustin, P. B., Robertson, S., Davey, P. C., & Netto, K. J. (2015). Validation of a Trunk-mounted Accelerometer to Measure Peak Impacts during Team Sport Movements. *International Journal of Sports Medicine, 36*(9), 742-746.

