

Université de Montréal

**Mesures de suivi longitudinal au hockey professionnel :
associations avec l'incidence de blessures**

par Simon Deguire

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

Mémoire présenté
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise
en Sciences de l'activité physique

1^{er} mai 2019

© Simon Deguire, 2019

Résumé

Les blessures représentent un enjeu important au hockey professionnel, considérant qu'elles peuvent affecter la carrière des joueurs et la performance des équipes. Le suivi de la charge d'entraînement est fort utilisé récemment pour tenter d'optimiser la prévention de blessures. Les différents types de variables qui sont collectées et les méthodes de suivi qui ont été examinées dans la littérature scientifique seront présentés dans ce mémoire.

À partir de ces informations, l'objectif sera d'étudier la relation entre les variations de charge externe, de bien-être et de traitement avec le risque de blessure en examinant les distributions et les variations observées du ratio aigu:chronique (A:C) dans les mesures de la charge d'entraînement chez les joueurs de hockey professionnels au cours d'une saison.

Les données recueillies et analysées dans le cadre de ce mémoire montrent que les ratios A :C pour la douleur et les traitements étaient significativement associés à la période aiguë pré-blessure. En effet, une augmentation de 0.1 du A:C pour les traitements augmente la probabilité d'être en période aiguë pré-blessure de 1.6 fois, tandis qu'une augmentation de 0.1 du ratio A :C pour la douleur diminue la probabilité de 1.3 fois. Ces résultats renforcent l'importance d'un suivi étroit de l'athlète ainsi que d'une communication continue et régulière du personnel de soutien avec l'équipe d'entraîneurs, sachant que de petites variations dans les changements de douleurs perçues et du nombre de traitements peuvent être associées à la probabilité que l'athlète soit en période aiguë pré-blessure.

Mots-clés: charge d'entraînement, suivi, blessure, hockey professionnel

Abstract

Injuries are an important issue in professional hockey as they can affect players' careers and team performance. Training load monitoring has been widely used recently to try to optimize injury prevention. This document presents the different types of variables collected and the monitoring methods identified in the scientific literature.

From this information, the objective will be to examine the relationship between external load, wellness and treatment variations with injury risk by examining acute:chronic ratio (A:C) distributions and variations in measures of training load from professional ice hockey players across a season.

The data collected and analyzed in this paper show that the A:C of pain and treatment were significantly related to the acute injury period. Indeed, an increase of 0.1 in treatment A:C increases the probability of being in an acute injury period by 1.6, while an increase of 0.1 in the pain A:C decreases the probability by 1.3. These results reinforce the importance of close monitoring of the athlete as well as ongoing and regular communication of support staff with the coaches, knowing that small variations in these variables may be sufficient to detect changes in the probability of being pre-injured.

Keywords: training load, monitoring, injury, professional ice hockey

Table des matières

Résumé.....	2
Abstract.....	3
Table des matières.....	4
Liste des tableaux.....	7
Liste des figures	8
Liste des sigles	10
Liste des abréviations.....	12
Remerciements.....	13
Introduction.....	15
1 L'enjeu des blessures dans le sport professionnel	18
1.1 Définition et classification d'une blessure	19
1.2 Épidémiologie des blessures au hockey sur glace.....	23
1.3 Performance post-blessure	26
1.4 Coût des blessures	30
2 Mesure de la charge d'entraînement.....	32
2.1 Mesure de la charge interne	33
2.1.1 <i>Session-RPE</i>	33
2.1.2 Questionnaires de bien-être et d'états d'humeur	36
2.1.3 Fonction neuromusculaire	38
2.2 Mesure de la charge externe.....	40
2.2.1 Centrales inertielles	41
2.2.2 Validité et fiabilité des centrales inertielles.....	42
2.2.3 Traitement et interprétation des mesures obtenues avec les centrales inertielles.....	43
3 Méthodes de suivi de la charge d'entraînement.....	46
3.1 Charge d'entraînement hebdomadaire, indices de monotonie et surmenage	48
3.1.1 Introduction et définition des concepts.....	48
3.1.2 Indices de monotonie et surmenage.....	49
3.2 Ratio Aigu:Chronique (A:C).....	50

3.2.1 Introduction au ratio aigu:chronique (A:C).....	50
3.2.2 Relation entre le A:C et le risque de blessure.....	52
3.2.3 Impact de la durée des fenêtres aiguës et chroniques du A:C	55
3.2.4 Limites dans l'utilisation du A:C.....	56
3.3 Moyennes glissées pondérées exponentielles (EWMA).....	61
3.3.1 Introduction aux moyennes glissées pondérées exponentielles (EWMA)	61
3.3.2 Comparaison des moyennes glissées traditionnelles et pondérées exponentielles.....	62
3.4 L'interprétation des données de suivi longitudinal	62
4 La mesure et le suivi des charges interne et externe au hockey.....	65
4.1 Mesures de charge interne au hockey	65
4.2 Mesures de charge externe au hockey.....	66
5 Article	71
ABSTRACT.....	71
INTRODUCTION	72
METHODS	74
Participants	74
Methodology	74
External Load Measurement.....	74
Wellness Assessment.....	75
Injury and Treatment Data Collection	76
A:C Computation.....	76
Statistical Analysis	77
RESULTS	78
A:C Distributions During the Season.....	78
A:C Variations During the Acute Injury Period.....	79
Association Between A:C Variables and Acute Injury Period	80
DISCUSSION	83
A:C Distributions During the Season.....	83
A:C Variations During the Acute Injury Period.....	84
Association Between A:C Variables and Acute Injury Period	84
Practical Applications	85

CONCLUSION.....	86
REFERENCES	88
6 Discussion générale	93
6.1 Les contraintes dans la collecte de données subjectives	93
6.2 Le choix de variables de charge externe au hockey sur glace.....	94
6.3 Le défi dans l'anticipation de blessures	95
6.4 Les enjeux dans le choix de la méthode visant à évaluer l'impact des variations sur le risque de blessure	97
6.5 L'approche bayésienne pour évaluer la probabilité de blessure	101
6.6 Limites de l'étude.....	101
Bibliographie.....	103

Liste des tableaux

Tableau 1. Tiré de Brophy et al. (2009). Durée de la carrière des joueurs de la LNF ayant subi une chirurgie de reconstruction du LCA et une ménisectomie en comparaison avec le groupe contrôle.	25
Tableau 2. Tiré de Green et al. (1976). Mesures de charge externe chez des joueurs de hockey universitaire (n=8) par position (C = centre, W = ailiers, D = défenseurs) et par période de jeu au cours d'une partie.....	67
Tableau 3. Tiré de Brocherie et al. (2018). Fréquence, durée moyenne et pourcentage du temps de glace pour les différentes actions de patinage chez des joueurs de hockey de niveau élite (n=10) au cours d'une partie.....	69

Liste des figures

Figure 1. Tirée de Junge et al. (2008). Exemple de rapport médical quotidien d'après la classification du Comité International Olympique.	21
Figure 2. Tirée de Junge et al. (2008). Définitions des blessures et codes selon la classification du Comité International Olympique.	22
Figure 3. Tirée de Sikka et al. (2016). Nombre de (A) parties jouées, (B) buts, (C) assistances, (D) points et (E) plus / moins pour les joueurs d'avant, avant et après une blessure au LCA. Les barres d'erreur indiquent les écarts-types; le nombre de joueurs est entre parenthèses.	29
Figure 4. Tirée de Impellizzeri et al. (2019). Représentation théorique des processus liés à la charge d'entraînement et impliqués dans la prise de décision autour de l'athlète.	45
Figure 5. Tirée de Gabbett (2016). Représentation visuelle pour l'interprétation du ratio de charge d'entraînement aigue:chronique associé à la probabilité de blessure. La zone verte correspond à un intervalle de ratios de charge où la probabilité de blessure est faible, alors que la zone rouge contient les ratios de charge où la probabilité de blessure est élevée.	53
Figure 6. Tirée de Lolli et al. (2018). Association entre le A:C (7:28) de la distance parcourue (parties et pratiques) et la charge d'entraînement chronique pour chacun des joueurs de soccer professionnel (n=24) de l'étude.	58
Figure 7. Tirée de Williams, West, Cross et Stokes (2017). Comparaison de l'accumulation de la charge d'entraînement et du A:C pour trois athlètes différents sur une même fenêtre temporelle.	60
Figure 8. Probabilité de blessure (%) selon le ratio A:C discrétisé en intervalles de 0.1 pour quatre différentes méthodes de calcul du A:C (EWMA couplées = moyennes glissées pondérées exponentielles couplées; EWMA non-couplées = moyennes glissées pondérées exponentielles	

non-couplées; Moyenne glissées couplées = moyennes glissées couplées; Moyennes glissées non-couplées = moyennes glissées non-couplées) à partir des données recueillies avec le Rocket de Laval pendant la saison 2017-18..... 99

Liste des sigles

A:C: Aigu:Chronique

ANB: Association Nationale de Basketball

CH: Charge d'entraînement hebdomadaire

CIO: Comité International Olympique

CV: Coefficient de Variation

DALDA: *Daily Analysis of Life Demands for Athletes*

EWMA: *Exponentially Weighted Moving Average*

GPS: *Global Positioning System*

HPD: *Highest Posterior Density*

IC: Intervalle de Confiance

ICC: *Intraclass Correlation Coefficient*

IM: Indice de Monotonie

IS: Indice de Surmenage

ISP: *Incredibly Short POMS*

LAF: Ligue Australienne de Football

LAH: Ligue Américaine de Hockey

LCA: Ligament Croisé Antérieur

LNF: Ligue Nationale de Football

LNH: Ligue Nationale de Hockey

LPS: *Local Positioning System*

OSICS: *Orchard Sports Injury Classification System*

OR: *Odds Ratio* (rapport de cotes)

PL: *PlayerLoad*TM

POMS: *Profile of Mood States*

RESTQ: *Recovery-Stress Questionnaire*

RPE: *Rating of Perceived Exertion/Effort*

RR: Risk Relatif (*Relative Risk* aussi parfois appelé *Risk Ratio*)

sRPE: *Session-Rating of Perceived Exertion/Effort*

TSB: *Training-Stress Balance*

Liste des abréviations

Etc.: Et cætera

kg: kilogramme

km/h: kilomètres par heure

m: mètres

min: minute

mph: miles par heure

ms: milliseconde

N: Newton

W: Watts

Remerciements

J'aimerais tout d'abord remercier mon directeur de recherche, Jonathan Tremblay, de m'avoir fait confiance de mener ce projet à terme. Je voudrais également le remercier de m'avoir poussé à sortir de ma zone de confort et à développer un esprit critique à travers les différentes étapes de ce projet de recherche.

Je remercie en particulier Pierre Allard, qui m'a donné l'opportunité de participer à ce projet de recherche. Sa rigueur au travail et son soutien constant m'ont grandement influencé dans mon parcours.

Je tiens à souligner l'aide précieuse que Romain Martinez m'a fournie au cours de la préparation et l'écriture de l'article. J'aimerais également remercier Patrick Delisle-Houde pour sa contribution à l'article, mais également pour tous les conseils qu'il m'a offerts au cours des deux dernières années.

J'aimerais remercier le Club de Hockey Canadien et Mitacs pour leur contribution à ce projet, sans quoi il n'aurait pas été possible de le réaliser.

J'aimerais prendre le temps de remercier mes parents qui m'ont énormément appuyé dans cette grande étape de mon parcours universitaire. Sans votre soutien continu, je ne serais pas où je suis aujourd'hui. Merci également à ma grande sœur, avec qui je partage fièrement la fin de nos projets de maîtrise respectifs.

Je souhaite remercier la personne la plus importante de ma vie, Audrey Lessard, pour avoir cru en moi, m'avoir fait confiance et m'avoir offert un appui extraordinaire. Merci, du fond du cœur, pour ton écoute et pour m'avoir suivi dans chacune des étapes de ce projet. Je t'aime tellement.

Introduction

Le sport de calibre amateur et professionnel était anciennement perçu par le grand public comme une source de divertissement. Les ligues, les organisations et les dirigeants prenaient des décisions qui allaient garder ou renforcer l'attrait des amateurs pour le sport en question. Depuis plusieurs années déjà, le sport professionnel est devenu un monde d'affaires, d'argent, de chiffres et de compétition (Soligard et al., 2016). Les équipes se doivent d'être performantes afin de participer aux séries éliminatoires, car c'est de cette façon qu'elles font du profit et qu'elles sont valorisées. Les joueurs doivent être plus puissants, explosifs et exécuter des actions spectaculaires pour toujours épater les spectateurs. Ce niveau de performance élevé et soutenu est associé à des exigences physiques importantes qui peuvent avoir un impact sur la santé des athlètes. Afin de pouvoir supporter ces exigences, les joueurs doivent rester en santé tout au long de la saison et les équipes se doivent d'avoir les meilleurs joueurs possibles dans la formation à chaque partie et à leur plein potentiel (Soligard et al., 2016).

Dans le hockey professionnel, le calendrier des parties est très chargé avec environ trois à quatre parties par semaine pour un total de 76 et 82 parties durant la saison régulière dans la Ligue Américaine de Hockey (LAH) et la Ligue Nationale de Hockey (LNH), respectivement. La distance parcourue pour se déplacer de ville en ville est considérable, sachant que les équipes de la LNH parcourent en moyenne entre 48 000 et 88 000 kilomètres par saison (Macdonald & Pulleyblank, 2014). Malgré un transport aérien qui réduit le temps de voyage pour les joueurs de la LNH, ceux-ci accumulent une fatigue non négligeable en raison des nombreux déplacements. Les équipes de la LAH parcourent moins de distance à travers une saison, étant donné la proximité entre les villes, mais les déplacements se font majoritairement en autobus. Les trajets varient

généralement entre 300 et 1000 kilomètres lorsque les équipes se déplacent pour jouer à l'étranger. Bref, ces déplacements s'ajoutent à un horaire chargé rempli d'un mélange de parties, de pratiques et de séances de préparation physique qui contribuent à la charge de travail que doivent subir ces athlètes.

Malgré ce calendrier très chargé, les joueurs se doivent d'être au meilleur de leur performance et ce, à chaque jour. Un aspect-clé de la préparation pour un athlète est de gérer intelligemment l'entraînement et le repos de celui-ci afin qu'il soit prêt à performer en tout temps et à supporter les exigences du calendrier chargé (Gabbett & Whiteley, 2017). La performance physique de l'athlète devient donc un défi très intéressant à relever pour le personnel de soutien, dont font partie, entre autres, les préparateurs physiques et les thérapeutes du sport (Brito, Hertzog, & Nassis, 2016). De plus en plus, ceux-ci compilent les informations sur le travail accompli par l'athlète ainsi que sur ses états physique et mental afin de voir si celui-ci s'adapte bien à la charge de travail qui lui est imposée (Gabbett et al., 2017). Selon Gabbett et coll. (2017), plus les informations proviennent de méthodes différentes, plus les interprétations risquent d'être intéressantes et significatives, mais plus il y aura de bruit dans les données. Les équipes ne peuvent s'en tenir qu'à une seule variable ou une seule technologie et doivent judicieusement choisir comment allouer les ressources pour faire le suivi. Il faut arriver à trouver la combinaison des variables appropriées et spécifiques au sport provenant de bons outils et de bonnes méthodes de suivi de la charge d'entraînement pour tenter d'anticiper le mieux possible les blessures.

Les travaux de ce mémoire débutent dans un premier temps par une revue de littérature qui a pour but de d'explorer les relations entre la charge d'entraînement et l'incidence de blessure dans

le hockey professionnel. Afin de pouvoir explorer ces relations, il sera tout d'abord important d'utiliser une définition claire de la blessure sportive et bien comprendre les impacts que celle-ci peut avoir tant sur le joueur que l'organisation sportive. J'approfondirai ensuite le concept de charge d'entraînement pour ainsi comprendre les mesures pouvant être pertinentes à mesurer pour le joueur, autant sur le terrain qu'à l'extérieur. Dans un même ordre d'idées, il sera ensuite important de parcourir les différentes méthodes de suivi et d'analyse de cette charge d'entraînement qui sont utilisées dans la littérature afin de comprendre les enjeux liés à cette mesure. Finalement, un portrait détaillé des pratiques spécifiques au hockey sur glace quant au niveau du suivi de la charge d'entraînement et l'analyse de la performance permettra de comprendre les avenues et enjeux à entrevoir dans les prochaines années.

L'étude originale présentée dans ce mémoire tente d'explorer les relations entre, d'une part, la charge de travail externe, certaines mesures de bien-être et la fréquence de traitement, et l'incidence de blessure. Ceci en examinant une méthode particulière, communément utilisée dans le milieu pour suivre l'état d'entraînement de populations d'athlètes, mais cette fois appliquée aux joueurs de hockey sur glace professionnels au cours d'une saison. À partir de cette analyse, les travaux présentés dans ce mémoire tentent à répondre aux questions suivantes: (1) Quelles sont les variations du ratio aigu:chronique des différentes variables au cours d'une saison dans la LAH? (2) Est-ce que la charge externe est significativement liée à l'incidence de blessures au hockey professionnel? (3) Quelles sont les variables qui semblent être les plus significativement liées à l'incidence de blessures au hockey professionnel?

1 L'enjeu des blessures dans le sport professionnel

L'émergence de la science dans le sport de niveau élite permet d'amener une dimension supplémentaire à l'encadrement fourni aux équipes sportives en quantifiant le travail des athlètes dans les différentes sphères de leur entraînement et en évaluant la probabilité de blessure (Vanrenterghem, Nedergaard, Robinson, & Drust, 2017). Il faut tout d'abord revenir aux bases de l'entraînement pour comprendre les différents enjeux à considérer. Un entraînement, peu importe le type, est un stimulus qui vient créer une surcharge ou un stress sur l'athlète (Gabbett, 2016). La réponse à celui-ci peut être positive si l'athlète réussit à avoir une bonne récupération et une surcompensation. Par contre, une réponse négative peut potentiellement engendrer une blessure, un surentraînement ou une sous-performance (Drew & Finch, 2016). Une grande partie du travail accompli par un athlète au cours d'une semaine se retrouve dans la pratique du sport même, de laquelle on retire généralement peu d'informations quantitatives sur les efforts fournis. Dans une équipe sportive de haut niveau, l'entraîneur et le préparateur physique doivent travailler ensemble afin d'établir la planification et déterminer la quantité de travail requise pour optimiser la performance (Foster, Daines, Hector, Snyder, & Welsh, 1996).

Tel que mentionné précédemment, l'enjeu pour ces athlètes est de non seulement être en bonne condition physique, mais également d'atteindre ce niveau de forme sans accumuler trop de fatigue. Celle-ci est principalement causée par l'effet cumulé d'entraînements dont l'intensité et le volume changent drastiquement au cours d'une même semaine, ce qui peut augmenter le risque de blessure de l'athlète (Williams, Trewartha, Cross, Kemp, & Stokes, 2017). Par contre, cet enjeu devient un peu plus compliqué à contrôler lorsque la saison sportive s'étale sur plusieurs mois, car l'équipe de soutien d'une équipe sportive doit s'assurer que l'athlète soit en mesure de maintenir

un niveau de performance tout au long de la saison tout en diminuant l'incidence de blessures de celui-ci (Brito et al., 2016; Burgess, 2017). Dans ce chapitre, la définition de blessure sportive sera abordée ainsi que l'épidémiologie des blessures dans différents sports. L'impact de celles-ci au niveau de la durée de la carrière des joueurs, de la performance post-blessure et du coût financier sera ensuite présenté.

1.1 Définition et classification d'une blessure

Des entraînements cumulés qui ne permettent pas une récupération adéquate entre les pratiques ou les parties peuvent mener à une fatigue accrue chez l'athlète, et c'est à ce moment que le risque de blessure semble le plus élevé (Jaspers, Brink, Probst, Frencken, & Helsen, 2016). Mais comment les études qualifient-elles une blessure? Il faut tout d'abord comprendre qu'une blessure sportive dépend d'une multitude de facteurs dont, entre autres, la condition physique, l'historique de blessure et d'entraînement, l'âge, le sexe, la force musculaire, le sport pratiqué ainsi que le niveau de compétition (Eckard, Padua, Hearn, Pexa, & Frank, 2018; Stares et al., 2017). Une étude effectuée chez des joueurs de cricket, en Australie, définissait une blessure comme un événement qui empêche un joueur d'être disponible pour une partie ou une pratique ou de compléter une action de base (Orchard, James, Portus, Kountouris, & Dennis, 2009). Dans une revue systématique assez récente, les auteurs ont défini une blessure comme un événement nécessitant une attention médicale ou occasionnant une absence d'activité (Drew & Finch, 2016). Il est certain que le nombre de blessures peut augmenter drastiquement si l'on vient à considérer l'attention médicale, car certains joueurs peuvent se faire traiter de manière préventive ou routinière, sans que ce soit réellement lié à une blessure. Il semble par contre que la précédente définition concorde avec celle de Junge et al. (2008), qui définit une blessure comme toute nouvelle plainte musculosquelettique à la suite d'un entraînement ou d'une partie qui nécessite l'attention

médicale, quelles que soient les conséquences en termes d'absence de compétition ou d'entraînement.

De plus, les blessures se classent généralement en deux types, soient les traumatismes et les dommages aux structures associés au stress imposé sur le système musculosquelettique, souvent présentées plus simplement comme blessures chroniques. Comme les traumatismes proviennent d'une collision ou un contact (mise en échec, chute au sol, contact genou à genou, etc.), ils sont parfois retirés des études, car il est difficile de les prévenir (Carey et al., 2016). Les blessures chroniques qui sont récurrentes, c'est-à-dire qu'un joueur a déjà un préalable médical ou physique, sont enlevées de cette même étude. Il existe un système de classification et codage des blessures qui se nomme "Orchard Sports Injury Classification System" (OSICS). Ce dernier a tout d'abord été développé dans un projet avec une équipe de football australien. Ce système de classification est composé de quatre lettres: la première réfère à la région anatomique atteinte, la deuxième correspond au type de blessure et les deux dernières réfèrent au diagnostic (Pérez, Orchard, & Rae, 2008). Une liste avec plusieurs centaines de différents codes est disponible pour assurer la bonne classification. Par contre, d'un point de vue pratique, cela peut être limitant, car il peut être assez long avant de trouver la blessure détaillée à travers la liste. En comparaison, la classification du Comité International Olympique (CIO) semble plus facile à appliquer dans un contexte pratique. En effet, les informations présentées pour une blessure comprennent le nom/code de l'athlète, l'événement, la date, l'heure, la région anatomique atteinte, le type de blessure, la cause de la blessure et le nombre estimé de jours avant de retourner à l'entraînement complet (Figure 1). Pour ce qui est de la région anatomique touchée, le type, ainsi que la cause de la blessure, des listes

associent un chiffre à chacune des possibilités (Figure 2) (Junge et al., 2008). Ce système de classification de blessures semble un peu plus simple et facile à utiliser.

Daily injury report for the Olympic Games



Nation _____ Physician's name _____ Date of report _____

Contact details _____ tel./fax or e-mail _____

Please report: All injuries (traumatic and overuse) newly incurred in competition or training during the Olympic Games regardless of the consequences with respect to absence from competition or training. The information provided is for medical and research purposes and will be treated confidentially.

Example:

Athlete's accreditation number 1234569587979		Sport and event Athletics, 100 m (women)		Round/heat or training Quarter final/1st heat		Date and time of injury 12.8./2:35 pm
Injured body part wrist	Code 15	Type of injury Sprain	Code 10	Cause of injury Slipped and fell	Code 3	Absence in days 10

Figure 1. Tirée de Junge et al. (2008). Exemple de rapport médical quotidien d'après la classification du Comité International Olympique.

Definitions and codes

Sport and event

Please state for team sports: the sport only (eg football, handball, basketball),
for all other sports: the sport and event (eg swimming - 4x100 m freestyle relay women;
track-110 m hurdles men; decathlon - high jump; taekwondo - under 58 kg; cycling - team sprint).

Round/heat or training

If the injury occurred during competition, please state:
for team sports: the match number or opponent team,
for all other sports: the round (eg first round, quarter-final, qualification, final) and heat or
group (eg first heat, second run, first semi-final, qualifying group A).
If the injury occurred at another occasion, please specify eg training, warm-up.

Date and time of injury

Please state date and time when the injury was incurred.

Injured body part - location of injury

Head and trunk	Upper extremity	Lower extremity
1 Face (incl. eye, ear, nose)	11 Shoulder/clavicle	21 Hip
2 Head	12 Upper arm	22 Groin
3 Neck/cervical spine	13 Elbow	23 Thigh
4 Thoracic spine/upper back	14 Forearm	24 Knee
5 Sternum/ribs	15 Wrist	25 Lower leg
6 Lumbar spine/lower back	16 Hand	26 Achilles tendon
7 Abdomen	17 Finger	27 Ankle
8 Pelvis/sacrum/buttock	18 Thumb	28 Foot/toe

Type of injury - diagnosis

1 Concussion (regardless of loss of consciousness)	11 Strain/muscle rupture/tear
2 Fracture (traumatic)	12 Contusion/haematoma/bruise
3 Stress fracture (overuse)	13 Tendinitis/tendinopathy
4 Other bone injuries	14 Bursitis
5 Dislocation, subluxation	15 Laceration/abrasion/skin lesion
6 Tendon rupture	16 Dental injury/broken tooth
7 Ligamentous rupture with instability	17 Nerve injury/spinal cord injury
8 Ligamentous rupture without instability	18 Muscle cramps or spasm
9 Sprain (injury of joint and/or ligaments)	19 Others
10 Lesion of meniscus or cartilage	

Cause of injury

1 Overuse (gradual onset)	11 Contact with another athlete	21 Field of play conditions
2 Overuse (sudden onset)	12 Contact: moving object (eg ball)	22 Weather condition
3 Non-contact trauma	13 Contact: stagnant object (eg net)	23 Equipment failure
4 Recurrence of previous injury	14 Violation of rules (foul play)	24 Others

Estimated duration of absence from training or competition (in days)

Please provide an estimate of the number of days that the athlete will not be able to
undertake their normal training programme or will not be able to compete.

0 = 0 days	14 = 2 weeks	>30 = more than 4 weeks
1 = 1 day	21 = 3 weeks	>180 = 6 months or more
2 = 2 days	28 = 4 weeks	
7 = 1 week		

© F-MARC 2008

Figure 2. Tirée de Junge et al. (2008). Définitions des blessures et codes selon la classification du Comité International Olympique.

L'objectif principal est d'avoir une définition claire de la blessure en plus d'avoir une méthodologie et des rapports qui sont standardisés et précis, ce qui permet une comparaison plus solide entre les résultats (Junge et al., 2008). Plusieurs définitions différentes d'une blessure sont utilisées dans la littérature et celles-ci varient principalement par rapport à l'aspect de participation (Meeuwisse & Love, 1997). En effet, Junge et Dvorak (2000) mentionnent que dans certaines études, une blessure doit nécessairement impliquer une absence d'activité, alors que d'autres n'en tiennent pas compte. Il y a également des auteurs qui catégorisent les blessures selon une absence ou non d'activité, ce qui permet d'englober plus d'événements (Colin W. Fuller et al., 2007; C. W. Fuller et al., 2006). À ce sujet, Hodgson et al. (2007) soutient que 70% à 92% de toutes les blessures subies ne sont pas reportées, car elles n'ont pas entraîné de parties manquées, ce qui vient directement affecter l'incidence de blessure. Bref, à travers différentes études, les variations dans les définitions ont mené à des résultats d'incidence de blessures qui ne concordent pas (C. W. Fuller et al., 2006). Le besoin d'établir une définition claire est donc essentiel pour permettre une comparaison entre les études.

1.2 Épidémiologie des blessures au hockey sur glace

Il est également important de comprendre qu'au hockey, les blessures les plus communes sont celles provenant d'une collision avec un autre joueur, la bande ou la rondelle. Ce type d'incident est défini comme un traumatisme. En effet, une étude faite avec une équipe de hockey de niveau amateur avait indiqué qu'au cours d'une saison, environ 74% des blessures provenaient d'un contact (Smith, Stuart, Wiese-Bjornstal, & Gunnon, 1997). Les régions les plus touchées étaient les membres inférieurs, principalement la jambe et le pied. Il est évident que l'intensité du jeu au hockey amateur est beaucoup plus faible qu'un niveau professionnel, mais les actions et les régions du corps les plus à risques sont les mêmes. L'important est de connaître les blessures les

plus courantes du sport avec lequel on travaille, sachant qu'au hockey par exemple, les blessures à l'aine et à la jambe peuvent mener à des absences (courtes ou prolongées) ou des chirurgies (Brown et al., 2008; Irshad et al., 2001). Dans un autre sport, comme le football australien par exemple, les blessures les plus fréquentes, entre autres, sont les étirements à l'ischiojambier et à l'aine, les entorses à la cheville et les commotions cérébrales (Hrysomallis, 2013). L'historique de blessures d'un athlète est également important pour permettre de cibler de prévenir l'apparition de douleur ou symptôme prédisposant, que ce soit avec des traitements préventifs ou des évaluations régulières.

À chaque année dans la Ligue Nationale de Football (LNF), il y a une à deux blessures au niveau du ligament croisé antérieur (LCA) du genou par équipe (Olson, Sikka, Labounty, & Christensen, 2013). Il semble que près de 12% des joueurs de la LNF ont un historique de blessure au ménisque du genou, tandis qu'environ 8% ont déjà subi une blessure au LCA (Brophy et al., 2009). La prévention de blessures dans le sport professionnel peut avoir de grandes répercussions sur la carrière des athlètes, sachant que ceux qui ont un grand nombre de blessures voient généralement leur carrière être écourtée (Brophy et al., 2009; Irshad et al., 2001; Olson et al., 2013). En effet, une intervention chirurgicale visant à retirer la partie lésée du ménisque, sans reconstruction du LCA, semble raccourcir la carrière d'un joueur de football professionnel en années (5.6 ± 2.8 vs 7.0 ± 3.5 ; $p= 0.03$) et en parties jouées (62 ± 41 vs 85 ± 58 ; $p= 0.02$) (Brophy et al., 2009). Par contre, la combinaison de ces deux opérations pourrait représenter la condition la plus détrimentale vis-à-vis la durabilité d'un athlète, encore une fois en années (4.0 ± 2.9 vs 6.1 ± 4.5 ; $p= 0.02$) et en parties jouées (41 ± 20 vs 73 ± 43 ; $p= 0.02$) (Tableau 1). Dans un même ordre d'idée, les joueurs de la LNF avec un historique d'un ou plusieurs épisodes de luxation de

l'articulation glénohumérale causant une instabilité de l'épaule voient leur carrière être significativement raccourcie en années (5.2 ± 3.9 vs 6.9 ± 3.6 ; $p= 0.01$) et en parties jouées (56 ± 53 vs 77 ± 50 ; $p= 0.03$) (Brophy et al., 2011). Il semble également que l'expérience d'un athlète de la LNF soit liée au retour au jeu à la suite d'une opération pour reconstruire le LCA, sachant que la moyenne de parties jouées avant l'opération était de 51 pour les athlètes qui sont retournés au jeu et 28 pour ceux qui n'y sont pas retournés ($p=0.039$) (Shah, Andrews, Fleisig, McMichael, & Lemak, 2010).

Career Length of Athletes With Combined Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Meniscectomy Versus Controls

Sample Size = 11		Mean	Median	SD	P Value
Years	Combined	4.0	4.0	2.9	.21
	Control	6.1	4.0	4.5	
Games played	Combined	41	24	20	.20
	Control	73	40	43	
Games started	Combined	8	1	13	.10
	Control	39	5	55	
Pro Bowl	Combined	0.09	0	0.30	.54
	Control	0.27	0	0.91	

Tableau 1. Tiré de Brophy et al. (2009). Durée de la carrière des joueurs de la LNF ayant subi une chirurgie de reconstruction du LCA et une méniscectomie en comparaison avec le groupe contrôle.

Au hockey professionnel, malgré que les blessures au LCA soient moins courantes qu'au soccer ou au football, celles-ci peuvent avoir un impact négatif considérable sur la carrière des joueurs. En effet, les joueurs de la LNH ayant subi une blessure au LCA ont une durée moyenne de jeu après la blessure de 2.8 ans (sans écart-type), comparativement à 4.4 ans (sans écart-type) chez les joueurs non blessés ($p = 0.004$) (Sikka, Kurtenbach, Steubs, Boyd, & Nelson, 2016). De

plus, 10.6% des joueurs ne sont pas revenus au jeu et 8.5% n'ont pas été en mesure de compléter une saison en entier par la suite. Les collisions faisant partie intégrante du hockey rendent les athlètes à risque d'une blessure comme la rupture du LCA. En effet, dans cette même étude de Sikka et al. (2016), sur 46 joueurs de la LNH, 34 ont subi une rupture du LCA en raison d'un contact avec un autre joueur alors que les 12 autres ont subi cette même blessure en raison d'un contact avec la bande. Selon une autre étude avec des joueurs de la LNH, la durée de la carrière et le nombre d'années de jeu suivant une arthroscopie à la hanche sont corrélés à l'âge du joueur au moment de l'opération ($r = 0.799$ et -0.408 , respectivement). Parmi les joueurs de l'étude, ceux qui ont joué plus de cinq saisons post-blessure étaient significativement plus jeunes que ceux qui en ont joué moins que cinq, ce qui laisse croire que l'âge lors de la chirurgie a un impact sur la durée de la carrière (Menge, Briggs, & Philippon, 2016).

Dans un même ordre d'idées, une étude basée sur des données de six saisons dans la LNH a permis d'affirmer que les blessures les plus dommageables au niveau des parties manquées sont celles causées par un contact (OR = 2.21, IC 95% = 1.86-2.62) et celles survenues sur la route (OR = 1.43, IC 95% = 1.25-1.63) (McKay, Tufts, Shaffer, & Meeuwisse, 2014). Entre les saisons 2006 à 2012, le nombre de blessures a significativement diminué, passant de 988 à 593 en saison régulière et de 57 à 25 en séries éliminatoires, ce qui pourrait laisser croire que le travail de prévention a été amélioré au fil du temps.

1.3 Performance post-blessure

Dans le sport de haut niveau, les blessures semblent non seulement avoir un impact sur la durée de la carrière des joueurs, mais également sur leur performance post-blessure. Dans la LNF, les porteurs de ballon ainsi que les receveurs de passes sont responsables de la progression du

ballon sur le terrain lors des séquences offensives. Dans une étude de Carey et al. (2006), les auteurs ont étudié la performance pré- et post-blessure de 64 joueurs ayant subi une blessure au LCA (porteurs de ballon = 31, receveurs de passes = 33). Pour évaluer leur performance, ils ont créé une cote de performance (*power rating*) qui prend le nombre total de verges cumulées divisé par 10, auquel on additionne les touchés (*touchdown*) qui eux sont multipliés par 6. La cote par partie des joueurs blessés a diminué de 9.9 (± 1.1) pré-blessure à 6.5 (± 0.9) post-blessure, ce qui est significativement différent ($p=0.002$) des joueurs non blessés (groupe contrôle). Parmi 27 joueurs de l'Association Nationale de Basketball (ANB) ayant subi cette même blessure, 44% d'entre eux ont vu leur cote d'efficacité (PER = *player efficiency rating*) diminuer par plus d'un point à la suite de leur retour au jeu, ce qui n'est par contre pas significativement différent des joueurs non blessés (Busfield, Kharrazi, Starkey, Lombardo, & Seegmiller, 2009).

Dans une revue systématique de Harris et al. (2013), les auteurs ont étudié les changements de performance chez des lanceurs professionnels de baseball pré- et post-blessure à l'épaule, dont cette dernière avait nécessité une chirurgie. Les résultats, dans l'ensemble, montrent que la performance réaugmente graduellement à la suite de la chirurgie, sans par contre retourner au niveau de performance pré-blessure. Plus spécifiquement, dans l'étude de Reynolds et al. (2008), la vitesse maximale moyenne d'un lancer était de 94.2 mph (± 2.3) pré-blessure, alors que la vitesse maximale moyenne a diminué à 90.1 mph (± 4.1) post-blessure. De plus, dans cette même étude, environ 65% des lanceurs ont affirmé avoir une perte subjective de contrôle moteur dans leur lancer.

Dans la LNH, les joueurs ayant subi une blessure au LCA semblent également voir leur performance diminuer à la suite de leur retour au jeu, du moins pour la première saison. En effet, les joueurs d'avant ont vu leur nombre de passes et de points diminuer de 20.3 et 35.2 à 13.8 ($p=0.005$) et 25.9 ($p=0.018$), respectivement (Figure 3) (Sikka et al., 2016). De plus, les joueurs de la LNH ayant joué sept saisons ou plus qui ont eu une chirurgie pour opérer une hernie sportive entre les années 2001 à 2008 semblent montrer une diminution de performance postopératoire. D'abord, il faut comprendre que ces joueurs ont joué en moyenne 70.5 parties (49 à 82) par saison avant l'opération, contre 49.0 parties en moyenne (15 à 80) disputées après l'opération ($p=0.014$) (Jakoi, O'Neill, Damsgaard, Fehring, & Tom, 2013). Ces joueurs ont vu leur nombre de buts par saison diminuer significativement, passant de 17.1 buts (0 à 33) avant l'opération à seulement 7.8 buts (0 à 34) après l'opération ($p=0.022$). Le nombre de passes a également diminué en moyenne de 25.4 (0 à 64) avant l'opération à 13.1 (0-54) après l'opération ($p=0.026$).

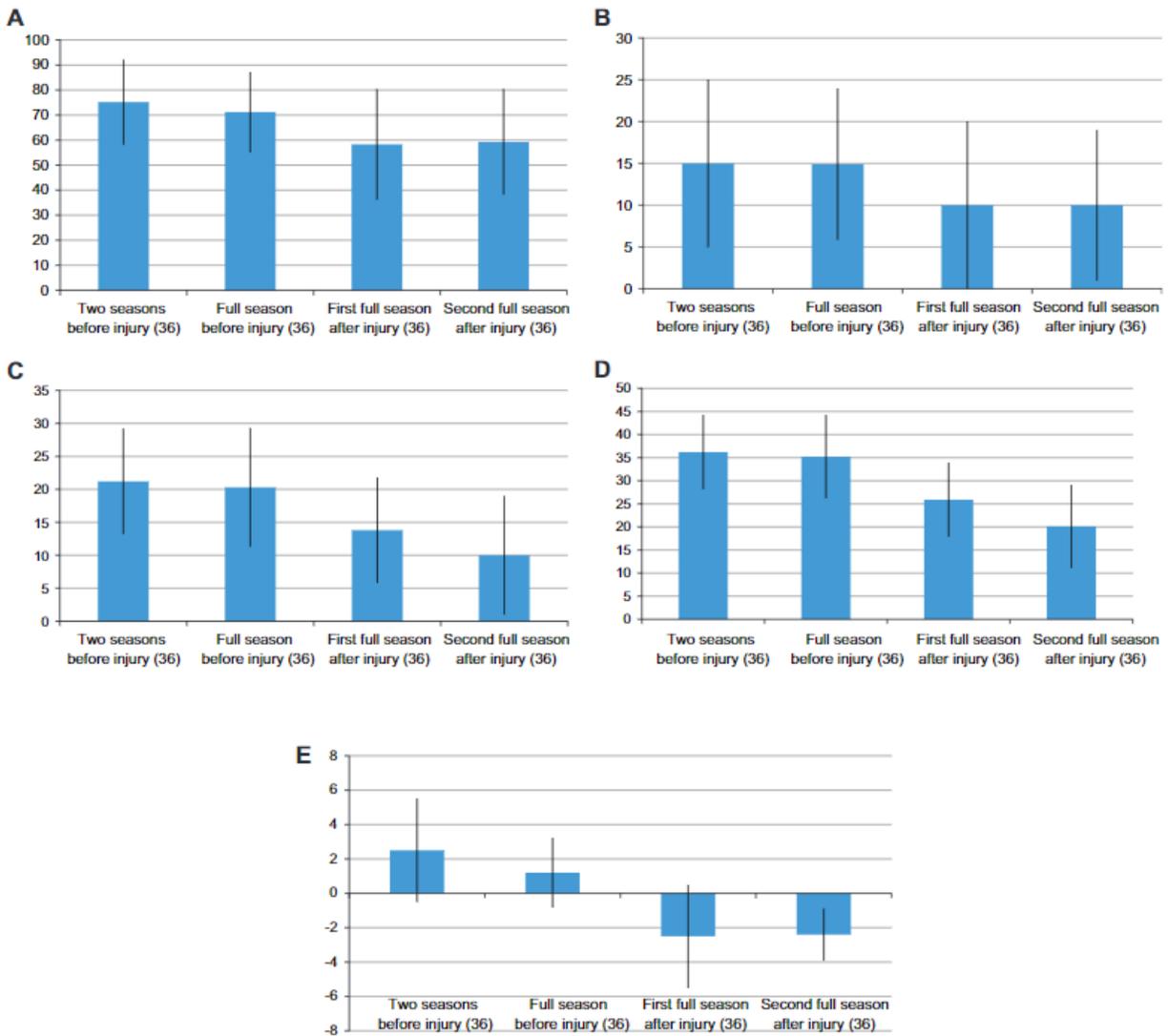


Figure 3. Tirée de Sikka et al. (2016). Nombre de (A) parties jouées, (B) buts, (C) assistances, (D) points et (E) plus / moins pour les joueurs d'avant, avant et après une blessure au LCA. Les barres d'erreur indiquent les écarts-types; le nombre de joueurs est entre parenthèses.

1.4 Coût des blessures

Dans les sports collectifs, les blessures peuvent influencer la performance d'une équipe au cours d'une saison. Par contre, celles-ci ont aussi un impact financier considérable. Dans une étude portant sur 21 ans de données de la Ligue de Football Australien (LFA), les auteurs ont analysé l'impact des elongations musculaires à l'ischiojambier, qui sont les blessures les plus communes dans ce sport, sur l'aspect financier (Hickey, Shield, Williams, & Opar, 2014). Par année, les pertes financières par équipe sont équivalentes au salaire d'un joueur de calibre moyen, soit environ entre 165 000\$ et 240 000\$. Ces chiffres peuvent devenir intéressants pour des propriétaires et dirigeants qui investissent de l'argent dans leur équipe, car ils pourraient les conscientiser à l'impact des blessures sur l'aspect financier et les inciter à encourager ou améliorer l'encadrement des joueurs (Hickey et al., 2014). Si l'on se fie à une étude ayant cumulé des données sur trois saisons (2009-2010 à 2011-2012) avec des joueurs de la Ligue Nationale de Hockey (LNH), plus de la moitié des joueurs (50.9%) ont manqué au moins une partie par année en raison d'une blessure (Donaldson, Li, & Cusimano, 2014). Ces parties manquées ont engendré des pertes moyennes annuelles d'environ 218 millions dans la ligue dans son ensemble, pour un total de 653 millions sur trois saisons. Au moment de l'étude, il y avait 30 équipes dans la LNH, ce qui donne tout près de 7.25 millions de pertes par équipe, et ce, annuellement.

Lorsque l'on regarde les régions du corps les plus affectées par les blessures, deux régions se démarquent grandement. La jambe et le pied représentent près de 30% des pertes financières totales, alors que la tête et le cou (traumatismes crâniens inclus), ensemble, comptent pour 25.7%. À titre comparatif, les deux régions suivantes en termes de pourcentage sont l'épaule, à 11.8% et l'aîne à 9.7%. Par contre, en termes de durée d'absence, les blessures à la tête et au cou et au bras

et à la main sont les plus dommageables, avec respectivement 11.1 ± 2.4 (IC= 95%) et 10.3 ± 2.4 (IC= 95%) parties manquées par incident (Donaldson et al., 2014).

En résumé, il faut tenter de prévenir les blessures pour potentiellement prolonger les carrières des athlètes et réduire les pertes financières, mais surtout pour maximiser la performance de toute équipe sportive.

2 Mesure de la charge d'entraînement

Afin de réduire le risque de blessure et améliorer la planification des interventions auprès des athlètes, de plus en plus d'équipes professionnelles effectuent, d'une manière ou d'une autre, un suivi de la charge d'entraînement. D'abord, il faut savoir que dans la littérature scientifique, les termes "charge" (*load*), "charge de travail" (*workload*) et "charge d'entraînement" (*training load*) ont toute la même signification (Eckard et al., 2018). La charge d'entraînement peut généralement être définie sous trois principales dimensions : la charge externe et interne, la charge subjective et objective et finalement, la charge absolue et relative. La charge externe se définit par un stress/stimulus externe qui est imposé à un athlète. On la quantifie généralement par le nombre d'accélération, de lancers ou la distance parcourue, par exemple. La charge interne, quant à elle, correspond à la réponse de l'athlète vis-à-vis cette charge externe. Elle peut être subjective, lorsqu'une mesure est rapportée par l'athlète directement (ex. échelle de Borg, questionnaires de bien-être, etc.), alors qu'elle sera objective lorsque la mesure ne peut être rapportée par l'athlète (ex. fréquence cardiaque, lactatémie, consommation d'oxygène, etc.). Finalement, la charge absolue représente la somme des différentes valeurs de charge d'entraînement dans une période donnée. On s'intéresse davantage aux variations de charge entre deux intervalles de temps, à l'accumulation de la charge et au niveau de forme d'un athlète donné lorsqu'on parle de charge relative (Eckard et al., 2018). Plusieurs méthodes sont utilisées pour mesurer les charges interne et externe, les principales seront discutées dans les prochaines sections.

2.1 Mesure de la charge interne

2.1.1 *Session-RPE*

Comme mentionné précédemment, les mesures de charge interne représentent des réponses psychologiques et physiologiques associées aux entraînements ou à l'état de l'athlète à un moment donné. Une mesure très utilisée dans des équipes sportives de haut niveau repose sur l'utilisation de l'échelle de perception d'effort par session (sRPE), qui est une méthode valide pour quantifier la charge de travail interne (Rogalski, Dawson, Heasman, & Gabbett, 2013). Elle consiste à multiplier la difficulté (par exemple à l'aide de l'échelle de Borg modifiée de 1 à 10; 1 étant un effort minimal et 10 un effort maximal) de l'entraînement perçu chez l'athlète par la durée de l'entraînement, en minutes. Certains débats demeurent quant à la durée de l'entraînement, à savoir si on inclut les temps de repos pour un entraînement par intervalles par exemple (Foster et al., 1996). La majorité des auteurs utilisent la durée totale de la séance ainsi qu'une évaluation globale de la difficulté de la séance dans son ensemble. La somme obtenue par le sRPE sur 7 jours fournit un score par semaine, qui est défini comme la charge d'entraînement hebdomadaire (*weekly training load*). Certains auteurs déplorent aussi que le sRPE calculé sur une semaine ne permette pas de décrire la provenance de la charge (parties, pratiques, séances de musculation), à moins qu'elle soit subdivisée en catégories. Prenons l'exemple d'un athlète de football qui complète un entraînement de 60 minutes à une intensité de 7/10; le sRPE équivaut à 420 unités arbitraires (UA). Ces mêmes 420 unités pourraient être obtenues par un athlète de triathlon qui complète un entraînement de 105 minutes à une intensité de 4/10. Il faut donc comprendre qu'avant de faire des comparaisons de la charge d'entraînement entre différents sports, il faut prendre en compte de la spécificité de chaque activité (Drew & Finch, 2016). Lorsqu'on observe la progression de la sRPE sur une programmation d'entraînement de plusieurs semaines par exemple, combiné à des

mesures de bien-être, il est possible de constater à quel point l'adaptation est efficace ou non. Une hausse de la charge interne, indiquant une certaine fatigue, suivie d'une baisse de la charge interne pourrait être expliquée par une adaptation efficace. De plus, une augmentation de la charge d'entraînement de semaine en semaine quantifiée par la méthode sRPE signifie que l'athlète tolère une quantité de travail de plus en plus grande. Il augmente donc sa capacité et celle-ci est souvent associée au niveau de forme ou de préparation de l'athlète (Drew & Finch, 2016). Dans une étude de Foster (1998), il a été rapporté que 77% des maladies (virus) pouvaient être expliqués par un pic de monotonie (charge constante) dans la charge d'entraînement. Sans la mesure régulière de la charge d'entraînement, même si elle comporte des difficultés d'interprétation, il serait difficile d'ajuster la planification des séances et de la difficulté de celles-ci de manière éclairée.

Cette stratégie de mesure de la charge est très polyvalente, car elle permet de quantifier le travail pour une variété d'activités physiques ou de sports, dans certains desquels il est parfois très difficile de mesurer la charge externe (Williams, Trewartha, et al., 2017). De plus, dans un milieu sportif professionnel où le temps pour la collecte de données et l'analyse peut être limité et considérant les coûts monétaires associés à certaines technologies, l'utilisation du sRPE a gagné en popularité (Brito et al., 2016; Juhari et al., 2017). Cette mesure comporte bien sûr certains inconvénients, par exemple, certains pourraient dire que les réponses sont très différentes d'un individu à l'autre, avec des coefficients de variation sur une saison allant de 5 à 72 % pour les sRPE et 4 à 48 % pour la charge d'entraînement hebdomadaire. Par contre, ces observations rappellent le principe d'individualisation comme quoi chaque athlète répond différemment à un stress. La sRPE permet donc d'évaluer la tolérance de l'athlète au stress que représente l'entraînement (Coutts, Wallace, & Slattery, 2009). Puisque les réponses peuvent varier

grandement d'un individu à l'autre, il est recommandé de comparer l'athlète avec lui-même (Brito et al., 2016). Les réponses peuvent varier pour une variété de raisons issues du contexte, de l'état de l'athlète et de son interprétation des échelles de mesure. Cette même étude effectuée chez des joueurs de soccer U-19 présente un exemple concret de réponses perceptuelles étant affectées par le contexte. En effet, Brito et al. (2016) semblent avoir remarqué que la charge d'entraînement à la suite d'une défaite ou d'une partie nulle était plus élevée qu'après avoir obtenu une victoire. L'adversité semble aussi pouvoir influencer la quantité de travail accompli, car ces mêmes auteurs ont remarqué qu'après avoir affronté une équipe de premiers tiers au classement, la charge d'entraînement était plus faible qu'après avoir affronté une équipe du deuxième tiers au classement (490 ± 150 vs 589 ± 112 AU; $p= 0.005$; $d=0.35$).

Il faut par contre s'assurer d'une bonne compréhension de l'athlète vis-à-vis l'échelle de perception d'effort pour en assurer la fiabilité. Lorsque les données sont récoltées dans la même fenêtre post-entraînement et de la même manière, la variabilité de la mesure liée à ces facteurs semble être réduite. En outre, il faut aussi réaliser que certains athlètes pourraient ne pas vouloir partager le fait qu'ils aient trouvé la séance d'entraînement difficile en termes d'effort, craignant que leur place dans l'équipe puisse en souffrir, ce qui correspond au biais de désirabilité (Nassis & Gabbett, 2017). Afin d'améliorer l'interprétation de la mesure de charge interne par la sRPE, il est utile de contextualiser les entraînements, non seulement dans une période temporelle ou dans la planification, mais aussi en lien avec l'état de l'athlète. Certains questionnaires visent à informer spécifiquement sur l'état de l'athlète par des mesures de bien-être ("wellness"), discutées dans la section suivante.

2.1.2 Questionnaires de bien-être et d'états d'humeur

La mesure de la charge interne par la sRPE est souvent combinée avec des questionnaires sur le bien-être de l'athlète (sommeil, stress, fatigue, courbatures, irritabilité, santé, motivation à l'entraînement) (Hooper & Mackinnon, 1995). Parmi les différents questionnaires utilisés dans la littérature, il semble que les mesures associées aux états d'humeur (e.g., POMS), au stress perçu et à la récupération (e.g., RESTQ-Sport) qu'aux symptômes du stress (e.g., DALDA) soient les plus utilisés et les plus utiles pour le suivi des athlètes (Saw, Main, & Gatin, 2016). Les mesures de charge interne sont souvent combinées avec des questionnaires de bien-être et d'états d'humeur, sachant que les mesures psychologiques sont souvent plus sensibles au phénomène de surentraînement que les facteurs physiologiques (Bourdon et al., 2017). Les mesures physiologiques ont également une validité critiquée en raison de conclusions incohérentes à travers différentes recherches visant à évaluer la progression du syndrome de surentraînement (Saw et al., 2016). Les mesures subjectives permettent aux scientifiques du sport et aux préparateurs physiques de comprendre l'impact des variations de la charge d'entraînement sur le bien-être d'un athlète, d'autant plus que les mesures objectives et subjectives ne sont pas toujours corrélées (Saw et al., 2016). Un élément qui favorise l'utilisation de questionnaires psychologiques est leur accessibilité par une récolte de données relativement rapide, sachant que les athlètes peuvent généralement répondre au questionnaire en quelques minutes. De plus, cela ne requiert pas d'outils de mesure sophistiqués et constitue une méthode non invasive (pas de prélèvement sanguin ou autre). Parmi les divers questionnaires valides, le *Profile of Mood States* (POMS), créé par McNair, Lorr et Droppleman (1971), est l'un des plus connus, étant utilisé en contexte sportif, clinique et psychologique. Par contre, la version originale comporte 65 adjectifs à quantifier sur une échelle de 1 à 5, ce qui peut alors devenir contraignant en termes de temps et limite son utilisation dans

un contexte sportif. La version courte a été conçue quelques années plus tard, réduisant le nombre d'éléments à quantifier à 37, et ce, sans perdre de l'information (Shacham, 1983). Fondamentalement, ce questionnaire a été conçu pour mesurer les états d'humeurs typiques et persistantes aux situations de la vie courante, les auteurs les catégorisent en six dimensions: tension-anxiété, dépression-abattement, colère-hostilité, vigueur-activité, fatigue-inertie et confusion-perplexité (Leunes & Burger, 2000). Plusieurs versions ont été adaptées depuis, dont le *Incredibly Short POMS* (ISP), qui ne comporte que six questions; une par dimension. Une étude avec plus de 500 sujets a d'ailleurs permis d'obtenir une corrélation variant entre 0.67 et 0.82 entre le POMS original et la version écourtée (ISP). Cette version semble donc être plus appropriée pour le domaine sportif étant donné que les athlètes n'ont pas nécessairement le temps et l'intérêt de se concentrer à remplir un questionnaire de 65 questions (Smith et al., 1997).

Parmi les autres questionnaires permettant de quantifier le niveau de repos et de stress d'un athlète, le *Recovery-Stress Questionnaire* (RESTQ) permet de créer un profil récupération-stress en mesurant la fréquence d'activités et états liés au stress et à la récupération à travers une période de temps fixe (Kellmann & Kallus, 2001). Une version spécifique pour le sport, le RESTQ-Sport comprend douze échelles générales et sept échelles spécifiques au sport, avec quatre questions par échelle et une question d'échauffement. Pour les 77 éléments du questionnaire, il faut donner un score sur une échelle de type Likert, soit une valeur entre 0 et 6, avec les balises suivantes: 0: jamais et 6: toujours, en indiquant la fréquence à laquelle se sont manifestés les épisodes de récupération liés au stress au cours des trois derniers jours et nuits (Kellmann, Altenburg, Lormes, & Steinacker, 2001). Pour l'analyse des résultats, les scores sont additionnés à travers chacune des catégories (stress général, stress spécifique au sport, récupération générale et récupération

spécifique au sport) de façon à établir un portrait global du niveau de stress et de récupération. Évidemment, un score global élevé au niveau du stress reflète un stress subjectif assez important, tandis qu'un score global élevé au niveau de la récupération est synonyme d'une récupération efficace. Plusieurs études ont démontré l'application et l'efficacité du RESTQ-Sport à faire le suivi d'athlètes ou de groupes d'athlètes lors de périodes spécifiques comme les camps d'entraînement, ce qui justifie son utilisation dans des études futures et dans le milieu de pratique sportive (Davis, Orzeck, & Keelan, 2007). Comme les changements importants au niveau de la charge d'entraînement peuvent avoir des effets physiologiques et psychologiques négatifs sur la performance à court ou moyen terme, en raison de la fatigue induite, il faut s'assurer de faire un suivi quotidien et hebdomadaire des données compilées par les athlètes (Foster et al., 1996).

2.1.3 Fonction neuromusculaire

Pour détecter ou anticiper la présence de fatigue neuromusculaire chez un athlète, des mesurant différentes composantes de la performance (puissance, vitesse ou changements de direction) sont souvent utilisés dans le milieu sportif. Ces évaluations permettent d'apprécier l'état d'entraînement de l'athlète et son niveau de préparation physique (Al Haddad, Simpson, & Buchheit, 2015). Dans le sport de haut niveau, de plus en plus de groupes sportifs ont recours à des méthodes de mesure de terrain sophistiquées comme des plateformes de force, qui étaient normalement réservées aux laboratoires de recherche. Dans une étude de neuf semaines avec une équipe de soccer professionnel en Espagne, les chercheurs ont remarqué une corrélation négative entre la hauteur d'un saut à contrebas à une jambe, mesurée à l'aide de plateformes de force, et le sRPE cumulé pour les efforts musculaires ($r = -0.52$ à -0.61) (Los Arcos, Martínez-Santos, Yanci, Mendiguchia, & Méndez-Villanueva, 2015). Une deuxième étude du même groupe a révélé que la puissance musculaire des membres inférieurs au saut vertical peut être altérée par une trop grande

quantité de travail accumulé ($r = -0.62$; $p < 0.01$), soit en pratique ou en partie, alors que la vitesse de course lors d'un sprint est négativement corrélée avec le sRPE cumulé pour les efforts musculaires ($r = -0.59$; $p \leq 0.05$) (Los Arcos, Yanci, & Mendiguchia, 2014). De plus, une autre étude avec 14 joueurs professionnels de soccer a montré que, à la mi-saison, le temps de jeu accumulé était associé (non significatif) avec le temps de sprint sur 30 mètres ($r = -0.531$, $p = 0.019$) de même que la hauteur du saut à contrebas ($r = 0.615$, $p = 0.009$) (Silva et al., 2014).

Certains auteurs rapportent toutefois que l'utilisation de mesures simples pour évaluer la fonction neuromusculaire, comme la hauteur du saut, le pic de puissance ou la vitesse maximale de mouvement pourraient occulter d'autres aspects clés de performance (Gathercole, Stellingwerff, & Sporer, 2015). Selon les résultats de l'étude de Gathercole et ses collaborateurs, il semble que la fatigue neuromusculaire influence davantage la stratégie motrice et l'efficacité du saut que le résultat même du saut (Gathercole, Sporer, Stellingwerff, & Sleivert, 2015). Pour valider cette hypothèse, ils ont décidé d'évaluer 22 différentes variables (16 liées à la performance et 6 liées à la mécanique du mouvement) au saut vertical avec 12 athlètes féminines de rugby de niveau élite. Celles-ci étaient testées une fois par semaine pendant six semaines avec une charge d'entraînement total qui augmentait chaque semaine. Ils ont pu observer que les variables liées au résultat même du saut ont subi une diminution marquée tout de suite après un protocole d'exercice, principalement pour la puissance moyenne relative (W/kg) et le temps d'envol (s) qui sont passés de 38.0 W/kg (± 4.1) à 35.1 W/kg (± 4.6) (taille d'effet = -0.69; modéré) et 0.544 s (± 0.045) à 0.520 s (± 0.044) (taille d'effet = -0.53; modéré), respectivement. De plus, certaines variables liées à la mécanique du mouvement ont également été altérées par la fatigue neuromusculaire, notamment la force à vitesse nulle (N) et l'aire sous la courbe de la relation force-vitesse ($N \cdot ms^{-2}$), qui sont

passés de 24.4 N (± 5.0) à 21.7 N (± 3.3) (taille d'effet = -0.55; modéré) et 27.5 N*ms⁻² (± 7.7) à 23.1 N*ms⁻² (± 7.3) (taille d'effet = -0.57; modéré), respectivement. Ces résultats suggèrent que la combinaison des différentes variables disponibles semble être une méthode plus prudente et complète pour déceler la fatigue neuromusculaire à court terme. Gathercole, Sporer et Stellingwerff (2015) ont décidé d'évaluer avec les mêmes variables que l'étude précédente, l'effet d'un programme d'entraînement de six semaines, avec une charge d'entraînement externe qui augmente progressivement (volume-charge), sur la fatigue neuromusculaire. Les résultats montrent que le temps pour atteindre le pic de force a été passablement affecté entre les semaines 3-6 (taille d'effet = 2.58 ± 0.55), de même que la force à vitesse nulle entre les semaines 5-6 (taille d'effet = -1.28 ± 0.44). Il semble par contre que les mesures de puissance seules ne représentent pas que les seules variables à analyser pour déceler la présence de fatigue neuromusculaire. Haff et al. (2005) ont étudié, chez des haltérophiles de niveau élite, l'effet d'un entraînement de onze semaines sur le taux maximal de développement de la force. Le taux de développement de la force semble intéressant d'un point de vue de performance, car il semble être principalement déterminé par la capacité à produire une contraction maximale volontaire au début de la phase de contraction d'un mouvement explosif (50–75 premières ms) (Haff et al., 1997; Maffiuletti et al., 2016).

2.2 Mesure de la charge externe

La charge externe correspond au travail mécanique produit par l'athlète, qui peut être mesuré de plusieurs manières isolées ou en simultané au cours d'un entraînement ou d'une partie afin de fournir différentes perspectives. Les résultats obtenus peuvent provenir d'une variété d'outils technologiques, comme les centrales inertielles et les accéléromètres, qui sont en mesure de fournir des mesures sur la force, la puissance et l'accélération (Chambers, Gabbett, Cole, &

Beard, 2015). Il y a également les systèmes de positionnement global (GPS) qui sont fréquemment utilisés, notamment au football (Bowen, Gross, Gimpel, Bruce-Low, & Li, 2019), soccer (Gabbett & Gahan, 2015) et rugby (Stares et al., 2017), et les systèmes de positionnement local (LPS) dans des sports intérieurs comme le handball (Luteberget, Spencer, & Gilgien, 2018) et le basketball (Sathyan, Shuttleworth, Hedley, & Davids, 2012). Ces systèmes permettent de fournir des mesures sur la distance parcourue et la vitesse, entre autres. Considérant que le hockey sur glace est un sport intérieur et qu'à ce jour aucune étude n'a utilisé le système LPS au hockey, les sections suivantes détaillent davantage l'utilisation des centrales inertielles dans le sport.

2.2.1 Centrales inertielles

La quantification du travail fourni par les athlètes dans les séances d'entraînement et les parties est de plus en plus présente dans le sport de haut niveau, dans le but notamment d'ajuster la planification et individualiser les charges d'entraînement. Afin d'y parvenir, les organisations sportives et les athlètes utilisent de plus en plus les centrales inertielles, composées d'un accéléromètre, d'un gyroscope et d'un magnétomètre, qui sont parfois combinées ou non aux systèmes GPS ou LPS (Gastin, McLean, Spittle, & Breed, 2013; Ritchie, Hopkins, Buchheit, Cordy, & Bartlett, 2016; Wik, Luteberget, & Spencer, 2017). Ils permettent de mesurer le travail complété par les athlètes à travers leurs tâches sportives même (Hulin, Gabbett, Lawson, Caputi, & Sampson, 2016). Ces outils, appelés centrales inertielles, sont justement portables par les athlètes, ce qui permet d'obtenir des informations sur leurs mouvements et accélérations dans les trois plans (frontal, sagittal, transverse) (Chambers et al., 2015). Certains fabricants ont développé des algorithmes permettant de reconnaître certains mouvements spécifiques dans certains sports comme le tennis ou le golf. Ces algorithmes permettent de quantifier le nombre d'actions spécifiques (e.g., frappes au tennis, virages en ski alpin, lancers au baseball) ou encore fournir des

rétroactions sur la qualité de l'exécution. Certains sports comprennent des mouvements répétés, comme la course à pied ou la nage, mais la complexité des actions dans les sports collectifs, couplée aux interactions avec les adversaires et objets (collisions, impacts, etc.) réduit la validité et la fiabilité de la reconnaissance automatisée (Chambers et al., 2015). De plus, certaines actions comportant des moments bien définis pour les reconnaître (par exemple, impact au sol lors de la course à pied) sont bien plus difficiles à identifier dans les sports de glisse, comme en ski de fond ou lors du patinage sur glace. Certains fabricants ont eu recours à l'apprentissage automatique pour faciliter la reconnaissance des actions en développant des algorithmes qui sont intégrés dans les capteurs avec un processeur qui traite l'information localement. Ces solutions accélèrent grandement le traitement et l'analyse de données issues de ces outils de mesures et facilitent grandement le travail des équipes de soutien.

2.2.2 Validité et fiabilité des centrales inertielles

Une étude a montré que le PlayerLoad™ (PL), une des mesures de la charge externe la plus communément utilisée dans les sports collectifs et développée par la société australienne *Catapult Sports*, lorsqu'utilisé au hockey sur glace (OptimEye S5, Catapult Sports, Melbourne, Australia), avait une fiabilité moyenne, voire grande, chez des joueurs de hockey universitaire avec des tâches de partie simulées (Van Iterson et al., 2016). Ces appareils semblent avoir une bonne validité et fiabilité au niveau de la distance et de la vitesse plus la fréquence d'échantillonnage est élevée. Pour assurer une fiabilité des données, les auteurs recommandent toutefois d'assigner une unité à chaque athlète pour toute une saison de compétition, afin de mieux contrôler la variabilité entre les capteurs. Boyd et al. (2011) ont également montré la validité des accéléromètres MinimaxX (Catapult Sports, Melbourne, Australia), en faisant des tests en laboratoire (statique et en mouvement) et sur le terrain lors de neuf parties de ligues de football australien, durant lesquels

les athlètes portaient deux accéléromètres superposés. En effet, leurs résultats montrent que le PL, dans des conditions statiques et dynamiques, a un coefficient de variation très faible, autant intra-appareil qu'inter-appareils (CV = 0.91-1.94). Luteberget et coll. (2018) ont également montré la fiabilité inter-accéléromètres (OptimEye S5, Catapult Sports, Melbourne, Australia) à partir de séances d'entraînement au handball, selon les différentes bandes d'intensité prédéfinies (CV; intensité basse = 2.7%, intensité moyenne = 4.6%, intensité haute = 5.3%, intensité moyenne/haute = 3.1%, totale = 1.8 %). Les résultats de cette étude ont aussi montré une fiabilité inter-appareils élevée pour le PL (CV < 2%).

2.2.3 Traitement et interprétation des mesures obtenues avec les centrales inertielles

Les centrales inertielles permettent de quantifier certains mouvements sportifs non-locomoteurs spécifiques au sport (e.g., collisions au rugby, lancer au baseball, sauts au volley-ball) (Gabbett, 2016). Les algorithmes de ces technologies permettent aussi d'obtenir de nouvelles mesures comme le PL, une mesure de volume, et le PL/min, qui est quant à elle une mesure d'intensité (Catapult Sports, Melbourne, VIC, Australie) (Buchheit & Simpson, 2016; Gabbett, 2015; Wik et al., 2017). Une étude récente de Allard, Martinez, Deguire et Tremblay (2019; données non publiées) soutient qu'au hockey sur glace, l'utilisation de variables du *On-Ice Load* (OIL), et par extension du *On-Ice Load/min* (OIL/min) semble valide pour quantifier la charge externe, en raison d'une corrélation de Pearson forte et significative entre le PL et le OIL ($r = 0,98$, $p < 0,01$). Dans un contexte pratique, l'équipe de soutien et les entraîneurs d'une équipe sportive sont alors en mesure, avec de tels outils, de quantifier le travail fourni par les athlètes. Cette quantification leur permet alors d'ajuster la planification hebdomadaire et de préparer des séances d'entraînement en fonction de la charge externe pour obtenir une réponse psychologique et

physiologique optimale (Akenhead, Harley, & Tweddle, 2016; Impellizzeri, Marcora, & Coutts, 2019). Il faut par contre user d'une certaine prudence et logique lorsqu'on souhaite utiliser ce genre d'informations pour suivre ou prescrire des entraînements, car il faut non seulement sélectionner des variables spécifiques au sport, mais également prendre en compte les différences interpositions (Akenhead et al., 2016; Lazarus et al., 2017). La réponse interne de l'athlète vis-à-vis le stress qu'impose l'entraînement sur le corps influence les adaptations physiologiques de l'entraînement, mais également le niveau de performance et le risque de blessure (Figure 4) (Drew & Finch, 2016; Impellizzeri et al., 2019). Les centrales inertielles permettent également d'obtenir des mesures sur les poussées effectuées lors d'un entraînement, que ce soit à la course ou sur patins par exemple. Donc, une variable intéressante à suivre au cours d'une saison de compétition pourrait être la force moyenne appliquée par poussée, qui va diminuer lorsque la fatigue neuromusculaire va augmenter (Buchheit & Simpson, 2016). Dans un contexte de prévention de blessures, quoique cela n'ait pas encore été étudié, l'analyse entre les ratios de la jambe droite et de la jambe gauche pourrait représenter une stratégie intéressante pour détecter la présence d'asymétries significatives.

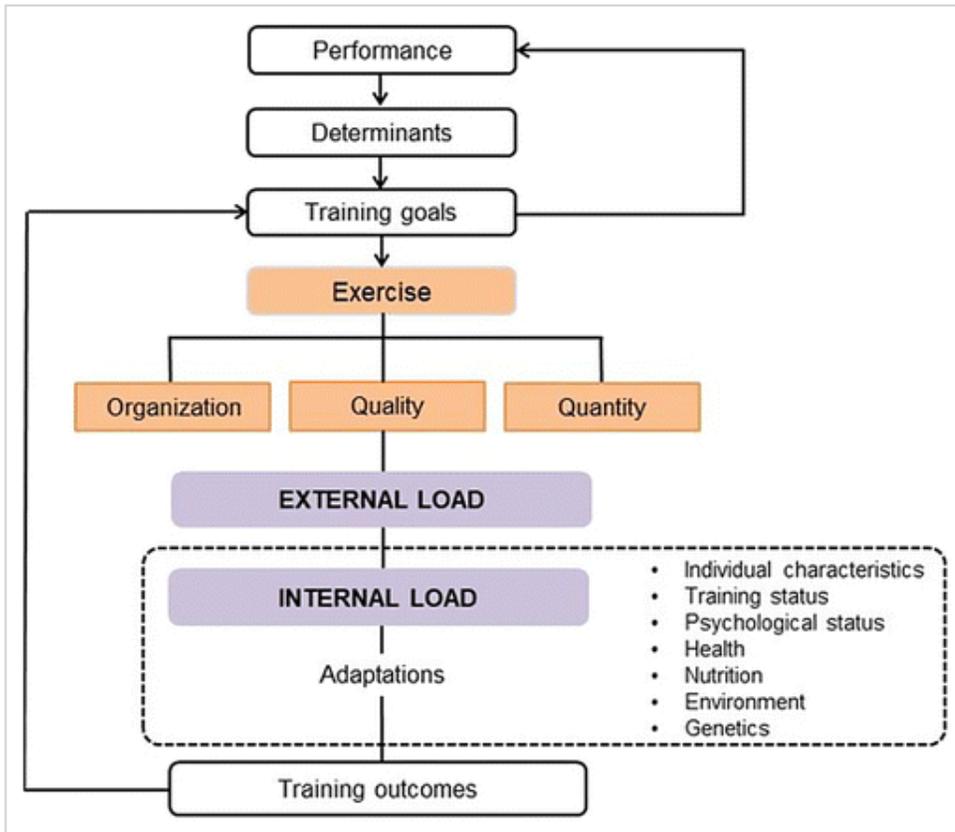


Figure 4. Tirée de Impellizzeri et al. (2019). Représentation théorique des processus reliés à la charge d'entraînement et impliqués dans la prise de décision autour de l'athlète.

3 Méthodes de suivi de la charge d'entraînement

Afin de bien évaluer et planifier une saison de compétition pour maximiser la performance, réduire les blessures et assurer la santé des athlètes, le suivi de la charge d'entraînement est une pratique de plus en plus utilisée dans les équipes de soutien qui gravitent autour d'athlètes élités ou dans les équipes sportives professionnelles. Le suivi de la charge d'entraînement permet de calculer la quantité de travail fait par un athlète sur une période de temps donné. Le but premier est de mieux comprendre les exigences physiques liées à l'entraînement et la compétition pour ensuite établir des profils individuels et d'équipes. Ces derniers permettent d'ailleurs au personnel d'entraînement de planifier des séances de façon à maximiser les adaptations, en ajustant la dose d'effort à fournir et les repos (Impellizzeri et al., 2019). De leur côté, les préparateurs physiques utilisent ces informations pour adapter le contenu des entraînements sous leur supervision en fonction des efforts fournis lors des entraînements spécifiques dans le sport (Buchheit & Simpson, 2016). Les patrons d'effort et repos varient énormément d'un athlète à l'autre, ou même d'un joueur à l'autre dans une même équipe sportive. Certaines positions sont plus exigeantes en termes d'intensité; prenons l'exemple d'un joueur de soccer qui joue à l'attaque en pointe. Une étude de Boyd et al. (2013) a montré qu'au football australien, la charge externe totale pour une partie était différente d'une position à l'autre. En effet, au niveau élite, le PL cumulé était supérieur pour les milieux de terrain en comparaison avec les attaquants et les défenseurs (8.8%, 0.59 ± 0.24 ; 34.2%, 1.83 ± 0.39 , respectivement). Le besoin d'une approche individualisée est donc nécessaire si l'on veut mieux comprendre les exigences de la pratique pour chacun des athlètes (Brito et al., 2016) et ensuite ajuster l'entraînement (ajout de travail préventif, modification de la charge, de la planification, etc.) pour espérer réduire le risque de blessures non-traumatiques (Mallo & Dellal,

2012). Plusieurs études ont récemment suggéré que les blessures chroniques n'étaient pas associées seulement à l'athlète lui-même, sa constitution, son expérience et ses décisions, mais peut-être davantage à la planification des entraînements. La responsabilité revient donc maintenant aux décideurs des organisations sportives et à leur équipe de soutien pour améliorer la qualité des interventions et de la planification pour réduire le risque de blessures (Gabbett, 2016).

Le suivi de la charge d'entraînement permet de quantifier le travail accompli pour chaque athlète au fil des semaines. Lorsqu'il est constant et détaillé, il peut également donner de l'information sur le niveau de fatigue, de récupération ainsi que sur le processus de retour au jeu (Jaspers et al., 2016). Traditionnellement, les chercheurs associaient les charges d'entraînement élevées à un risque de blessure plus élevé (Windt, Gabbett, Ferris, & Khan, 2017). De façon très simpliste, un risque de blessure correspond à la probabilité qu'un danger (contact, sans-contact, surentraînement, etc.) ait un impact néfaste sur la santé et/ou la performance d'un athlète (C. Fuller & Drawer, 2004). Par contre, certaines études ont plutôt suggéré qu'une charge d'entraînement importante est nécessaire pour favoriser développer les capacités de l'athlète, lui permettre de supporter une charge d'entraînement supplémentaire qui devrait mener à une amélioration de la performance sportive (si la planification est adéquate) (Hulin et al., 2016; Hulin et al., 2016). Ce cumul de charge sur une période prolongée, de quelques semaines à un mois, en moyenne, est souvent qualifié de charge chronique. La charge aiguë, quant à elle, reflète plutôt la charge de travail sur une courte période, de quelques jours à une semaine, et est souvent associée à la fatigue de l'athlète (Foster et al., 1996). Plus récemment, il a été rapporté que les voyageements répétés, dont le transport aérien et prolongé avec plusieurs changements de fuseaux horaires, sont aussi associés à un plus grand risque de maladie (OR = 4.94, IC 95% = 3.74-6.53, $p < 0.001$), bien que

les mécanismes de ce phénomène ne soient pas connus (Schwellnus et al., 2016; Svendsen, Taylor, Tønnessen, Bahr, & Gleeson, 2016).

3.1 Charge d'entraînement hebdomadaire, indices de monotonie et surmenage

3.1.1 Introduction et définition des concepts

À partir de données de charge interne et/ou externe obtenues en contexte d'entraînement ou de partie, les équipes de soutien peuvent alors calculer la charge d'entraînement quotidienne (C) de façon à intégrer un suivi individuel et d'équipe. En plus de s'intéresser aux valeurs absolues et relatives de charge de travail, le personnel de soutien des équipes sportives doit également porter une attention aux variations quotidiennes et hebdomadaires avec des indices de monotonie et de surmenage, qui sont couramment utilisés (Delecroix et al., 2018; Lazarus et al., 2017; Svendsen et al., 2016). Pour calculer la monotonie, il faut prendre la moyenne (X) de la charge d'entraînement quotidienne (C) sur 7 jours et la diviser par l'écart-type de la charge (SD) des mêmes 7 jours. Le surmenage (IS) est dépendant de l'indice de monotonie, car il est le produit de la charge hebdomadaire ($CH = X \times 7$) et de l'indice de monotonie (IM). Concrètement, s'il y a beaucoup de variété dans l'entraînement, l'écart-type sera plus grand et l'indice de monotonie plus petit.

À partir de données de blessures compilées sur une fenêtre temporelle donnée, deux approches sont fréquemment utilisées pour évaluer la probabilité de blessure. D'abord, le *risque relatif* (RR), parfois appelé rapport de risques, est le rapport entre la probabilité de blessure dans un groupe de sujets exposés à un risque x (i.e., certaines valeurs de IM, IS ou A:C) et la probabilité de blessure dans un groupe de sujets non-exposés (Bahr & Holme, 2003). Il est souvent calculé par l'incidence de blessure (nombre de blessures dans une fenêtre temporelle donnée) dans le

groupe exposé et l'incidence dans le groupe non exposé. Le rapport de cotes (OR) consiste en un rapport entre la probabilité qu'un événement x (i.e., athlète blessé) survienne en présence de y (i.e., certaines valeurs de IM, IS ou A:C) et la probabilité que x (i.e., athlète blessé) survienne en l'absence de la condition y (Bland & Altman, 2000).

3.1.2 Indices de monotonie et surmenage

Certaines études semblent indiquer que plus les indices de monotonie et de surmenage sont élevés, plus ils risquent de contribuer à une mauvaise adaptation à l'entraînement (Foster, 1998; Foster & Lehman, 2003; Lehmann, Foster, & Keul, 1993). Il faut donc éviter de toujours faire la même durée à la même intensité; de légères variations sont recommandées (Foster, Rodriguez-Marroyo, & De Koning, 2017). Dans une étude des années 1990 avec des athlètes de l'équipe nationale américaine de patinage de vitesse, 77% des maladies ont été associées à un pic de l'indice de monotonie, malgré que 52% des pics au-dessus du seuil individuel de monotonie n'ont pas été associés à la maladie (Foster, 1998). Pour ce qui est de l'indice de surmenage, 89% des maladies ont été associées à un pic de l'indice de surmenage, quoique près de la moitié (52%) des pics au-dessus du seuil individuel n'ont pas été liés à la maladie.

Dans une étude récente, un groupe de chercheurs a évalué, pour 130 joueurs de soccer de niveau élite en Europe, l'incidence de blessure en lien avec les indices de monotonie et de surmenage. Avec les données de sRPE cumulées, ils ont testé ces deux indices sur 7, 14, 21 et 28 jours. D'après leurs résultats, il semble qu'une hausse de l'indice de surmenage calculé sur quatre semaines soit associée à une augmentation du risque de blessure (RR = 1.50, IC 95% = 1.14-1.97; $p= 0.004$) (Delecroix et al., 2018). Par contre, un indice de monotonie plus élevé était lié à un risque de blessure inférieur (RR = 0.72, IC 95% = 0.58-0.90; $p= 0.004$), ce qui est une conclusion

complètement opposée à celles de Brink (Brink et al., 2010) et Foster (Foster et al., 2017). Les conclusions de Foster ont été présentées au paragraphe précédent. Brink et al. (2010) ont quant à eux évalué l'incidence de blessure chez des 53 joueurs de soccer âgés entre 15 et 18 ans à partir de données de sRPE pour les entraînements et les parties. Les résultats ont montré qu'une hausse de l'indice de monotonie était liée à une hausse de risque de blessure, autant pour les blessures traumatiques (OR = 2.59, IC 95% = 1.22-5.50), les blessures chroniques (OR = 0.84, IC 95% = 0.25-2.76) et les virus (OR = 2.52, IC 95% = 0.79-8.08). Il faut comprendre que les conclusions entre ces études peuvent être différentes en raison de certaines particularités de chaque étude. Pour ce qui est de l'étude de Delecroix et coll. (2018), ils ont évalué des joueurs de soccer élite avec un horaire qui varie davantage en raison des nombreuses parties (en moyenne trois par semaine) et des nombreuses pratiques (aucune spécification). De plus, les sujets de l'étude de Brink, de leur côté, avaient non seulement un horaire plus stable et monotone, mais leur indice de monotonie était calculé sur 7 jours, au lieu de 28 jours pour l'étude de Delecroix et coll. (2018), ce qui peut avoir un impact sur l'indice de monotonie et ultimement sa relation avec le risque de blessure.

3.2 Ratio Aigu:Chronique (A:C)

3.2.1 Introduction au ratio aigu:chronique (A:C)

Une autre méthode qui a été fortement utilisée dans les dernières années (peut-être un peu à outrance) pour analyser les variations de la charge d'entraînement est le ratio aigu:chronique (A:C), originalement, prenait le nom d'équilibre entre le stress et l'entraînement (TSB: *Training-Stress Balance*). Ce concept a été introduit par Andrew Coggan dans le but de mieux pouvoir observer les impacts positifs et négatifs de l'entraînement (Gabbett, Hulin, Blanch, & Whiteley, 2016). Le A:C, qui consiste en une moyenne glissée comparant généralement la charge

d'entraînement d'une semaine (moyenne des sept derniers jours) avec celle des quatre dernières semaines (moyenne des 28 derniers jours), est fortement utilisé dans le sport de haut niveau pour détecter des changements inhabituels dans l'évolution de la charge d'entraînement. Il permet donc d'évaluer si la charge d'entraînement aiguë est supérieure, inférieure ou égale à la charge d'entraînement chronique à laquelle l'athlète a été préparé au cours de la dernière période (Hulin et al., 2016). Certains auteurs, dont Tim Gabbett, qui a participé à la majorité des travaux sur ce sujet, ont observé des associations entre ce ratio et le risque de blessures, ce qui a attiré l'attention de plusieurs équipes professionnelles. Avec un historique complet et détaillé de la charge d'entraînement sur plusieurs semaines, il devient alors possible d'utiliser le A:C dans une optique de prévention de blessures et de retour au jeu. Malgré la nature multifactorielle de la blessure, les différents intervenants de l'équipe de soutien peuvent ainsi tenter d'établir le risque de blessure lors d'un retour au jeu. En effet, si des données sur les athlètes sont cumulées de manière régulière et rigoureuse à travers d'une saison, la charge d'entraînement et le stress appliqué en situation de partie peuvent être connus. Ces informations sont pertinentes afin d'établir le A:C et ainsi tenter d'évaluer le risque de blessure à travers le processus de retour au jeu. Il ne faut pas oublier qu'un athlète qui est blessé accomplit généralement très peu de travail durant sa convalescence, de par ses limitations fonctionnelles, ce qui peut grandement affecter sa charge d'entraînement chronique. Il faut donc élaborer un protocole progressif de retour au jeu, idéalement avec une augmentation de 10% ou moins de la charge d'entraînement par semaine, pour s'assurer de minimiser le risque de blessure à travers le processus (Blanch & Gabbett, 2016; Gabbett, 2016; Gabbett & Whiteley, 2017). Il est important de noter que ce ratio a maintenant été utilisé à plusieurs reprises, par plusieurs groupes de recherche dont les travaux ont été publiés dans des journaux à très bons facteurs d'impact (Drew, Blanch, Purdam, & Gabbett, 2016).

3.2.2 Relation entre le A:C et le risque de blessure

Certains travaux ont rapporté une relation significative entre le A:C et la probabilité de blessures. Dans une étude avec des joueurs professionnels de cricket, un groupe de sujets avec un TSB de 200% ont été comparés avec un second groupe avec un TSB entre 50-99%, mesures obtenues par des charges internes et externes. Les sujets avec un TSB de 200% ont vu leur risque de blessures augmenter avec un rapport de risque de 4.5 (IC 95% = 3.43-5.90, $p=0.009$) et 3.3 (IC 95% = 1.50-7.25, $p=0.033$), respectivement avec la charge interne et externe (Hulin et al., 2014). Les conclusions des études portant sur l'utilisation de ces ratios suggèrent de limiter les changements drastiques dans la charge, qui peuvent augmenter le risque de blessures (Warren, Williams, McCaig, & Trewartha, 2018; Williams, Trewartha, et al., 2017).

Des joueurs élités de cricket ont fait l'objet de la première étude qui tentait d'évaluer la relation entre le A:C et le risque de blessures. Les résultats ont montré qu'un ratio supérieur ou égal à 2.00 pour un jour donné était associé à un risque de blessures 4.5 fois supérieur durant les sept jours suivants, comparativement au risque lorsque le ratio est entre 0.5 et 0.99 (RR = 4.5, IC 95% = 3.43-5.90, $p=0.009$) (Hulin et al., 2014). Gabbett et coll. (2016) ont également complété une étude visant à proposer une distribution du risque en fonction du ratio, suggérant que certaines valeurs étaient plus "sécuritaires" et d'autres, plus "dangereuses", en termes de risque de blessures. Suite à leurs analyses, les auteurs suggèrent aux intervenants dans les équipes de soutien de viser un ratio oscillant entre 0.8 à 1.3, formant une courbe avec une allure de "J" évasé (Figure 5). Toujours selon ces études, un ratio au-delà de 1.5 augmenterait le risque de blessures de deux à quatre fois sur une fenêtre de sept jours; que les auteurs qualifient de "zone de danger" (Gabbett, 2016; Hulin et al., 2014). Il est à noter qu'un niveau de forme physique élevé peut contribuer à

diminuer l'incidence de blessure chez un athlète, mais le risque demeure toujours présent lors d'augmentations de charge soudaines et élevées (Bourdon et al., 2017). De façon simplifiée, l'indice chronique est perçu comme le niveau de forme de l'athlète, tandis que l'indice aigu réfère plutôt à la fatigue de celui-ci. Dans d'autres études, certains chercheurs ont remarqué qu'une courbe en forme de "J" était plus appropriée pour représenter la probabilité de blessures en fonction du A:C, ce qui laisse présager un risque accru de blessure lors d'une phase de décharge ou de "sous-entraînement" (Stares et al., 2017).

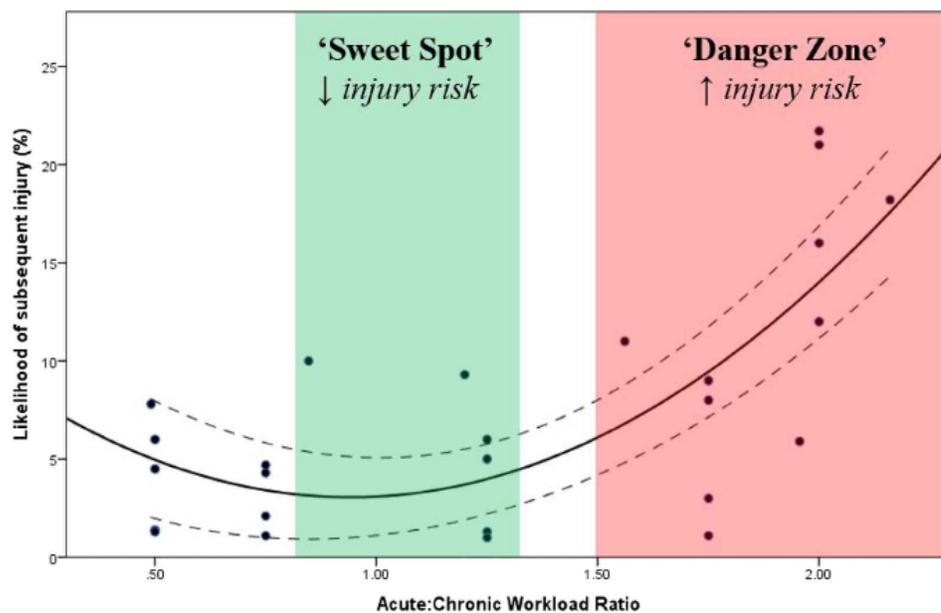


Figure 5. Tirée de Gabbett (2016). Représentation visuelle pour l'interprétation du ratio de charge d'entraînement aigu:chronique associé à la probabilité de blessure. La zone verte correspond à un intervalle de ratios de charge où la probabilité de blessure est faible, alors que la zone rouge contient les ratios de charge où la probabilité de blessure est élevée.

Dans un récent éditorial, les chercheurs Billy Hulin et Tim Gabbett (2018) ont tenté de rectifier le tir par rapport à l'interprétation des résultats présentés ci-haut. Certains chercheurs, scientifiques du sport et préparateurs physiques ont contesté la justesse des propos et des conclusions qui ont émané de leurs projets de recherche (Hulin & Gabbett, 2018). À ce sujet, Gabbett et Hulin ont tenu à préciser que la "zone de danger" établie à 1.5 peut servir à orienter les décisions vis-à-vis la planification d'entraînement, tout en rappelant que la prédiction de blessure ne sera jamais une science exacte. D'après les auteurs, les interprétations hâtives et inadéquates que certains ont pu avoir en lien avec le A:C pourraient provenir du titre de certains de leurs articles (à Gabbett et Hulin), où les termes "prédiction" et "prédire" étaient mis de l'avant. Ils concèdent que les titres ont pu porter à confusion, mais ont par contre tenu à préciser que la présentation des concepts et des idées était plus claire et complète dans leurs manuscrits. Ils ont souligné qu'un A:C supérieur à 1.5, comparativement à un A:C entre 1.02 et 1.18, correspondait une augmentation du risque de blessure de 6-11% à 29% (RR = 2.6-4.9) (Hulin & Gabbett, 2018). Par contre, les auteurs ont continué de mettre de l'emphase sur le fait que le A:C ne doit pas être utilisé de manière isolée pour faire le lien avec les blessures étant donné la diversité des liens causaux pouvant mener aux blessures. Une analyse de sensibilité et de spécificité pourrait notamment montrer que l'utilisation seule de ce ratio a une faible précision pour prédire les blessures (Hulin & Gabbett, 2018). À cet effet, une étude récente de Delecroix et collaborateurs (2018) a rapporté la relation entre le A:C calculé à partir de données de sRPE et l'incidence de blessure. Ils ont remarqué que les A:C établis sur trois semaines sont supérieurs à 1.30 sont associées à un risque de blessure plus grand que pour les valeurs inférieures à 1.30 (RR = 1.37, IC 95% = 1.05-1.77). Malgré cette association, si l'on observe les A:C en isolation, l'analyse de sensibilité et spécificité reste très peu convaincante pour les différents intervalles choisis, avec des valeurs de 4 à 36% et 70 à 97%, respectivement. Il serait

donc plus juste de conclure que les valeurs de A:C, quoiqu'elles peuvent être associées à un risque plus élevé de blessures, ne permettent toutefois pas de les prédire (Delecroix et al., 2018; Fanchini et al., 2018; McCall, Dupont, & Ekstrand, 2018).

3.2.3 Impact de la durée des fenêtres aiguës et chroniques du A:C

Comme mentionné précédemment, les études utilisent généralement un ratio 7 jours sur 28 jours dans leur calcul du ratio aigu:chronique. Il n'y a pas de rationnel particulier pour utiliser ces deux périodes, outre la commodité d'avoir des périodes qui correspondent à une semaine et un mois. Carey et coll. (2016) ont plutôt tenté de trouver le ratio qui était le plus indicatif et qui exprimait le mieux la probabilité de blessures lors d'une partie ainsi que dans les jours suivants une partie. Après avoir testé une multitude de fenêtres de charge aiguë et chronique, le ratio 3:21 a montré la plus forte association avec le risque de blessures lors du jour de la partie ($R^2 = 0.79$) et dans les 2 à 5 jours suivant la partie ($R^2 = 0.78-0.82$) (Carey et al., 2016). Ils ont noté que la durée de la période "aiguë" influence énormément le modèle et les résultats obtenus. Cela va dans le même sens que l'étude de Dupont (2010), qui mentionne qu'un repos de 72 à 96 heures entre deux parties, chez 32 joueurs de soccer professionnel, semblait suffisant pour garder le niveau de performance physique. Ce délai n'est par contre pas assez important pour maintenir un faible taux de blessure. De plus, dans les périodes où plusieurs parties sont condensées, la rotation des joueurs pourrait représenter une stratégie intéressante à adopter pour tenter de diminuer l'exposition des joueurs à des risques de blessures plus élevés (Dupont et al., 2010). La recommandation qui découle de cette recherche est de prendre en considération l'horaire d'entraînement et de compétition, car il varie énormément d'un sport à l'autre. Comme le mentionnent Sampson et coll. (2016), chaque sport étant différent du point de vue de l'entraînement et l'environnement, il n'y a pas de modèle, à ce jour, qui soit optimal pour tous les sports. Il faut donc analyser la fréquence et

la répartition des parties et des entraînements au cours d'une saison avant de déterminer les fenêtres du A:C. Par contre, Stares et coll. (2017) ont tenté une douzaine de combinaisons de A:C, mais aucune d'entre elles n'a montré un plus grand risque de blessures dans les sept jours suivant la période aiguë. Malgré les nombreuses associations qui ont pu être faites entre le risque de blessure chronique et le A:C, ce dernier ne permet pas de prédire une blessure non traumatique (Fanchini et al., 2018). En effet, les chercheurs de cette étude ont étudié trois différents ratios de charge aiguë et chronique (7 jours sur 14 jours, 21 jours et 28 jours). La sensibilité (joueurs blessés avec un ratio qualifié "à risque") calculée au 85e percentile du A:C, était assez faible (21%, 24% et 20%, respectivement pour 7/14, 7/21 et 7/28 jours). Il est important de souligner qu'indépendamment du ratio qui permettra d'obtenir la meilleure spécificité, d'un point de vue clinique ou scientifique, il est encore difficile d'interpréter un ratio de moyennes glissées et de comprendre ses implications mécanistiques ou causales.

3.2.4 Limites dans l'utilisation du A:C

Récemment, quelques études ont soulevé des limites quant à l'utilisation et à la validité du A:C. En effet, Lolli et coll. (2017) évoquent notamment que les corrélations pourraient être biaisées en raison de la présence de la fenêtre "aiguë" dans le calcul de la fenêtre "chronique". Il pourrait donc y avoir un biais étant donné que le numérateur et le dénominateur sont mathématiquement couplés. Dans un récent éditorial, Windt et Gabbett (2018) ont montré que lorsque la fenêtre aiguë représente le quart de la fenêtre chronique, avec un modèle très commun de 7 jours sur 28 jours, le ratio couplé ne peut avoir une valeur supérieure à 4, alors que le ratio non-couplé peut potentiellement mener à une valeur très élevée. En effet, plus la charge aiguë est élevée en comparaison avec la charge chronique, plus le A:C sera grand. Les deux chercheurs recommandent d'éviter d'utiliser des valeurs de A:C isolées dans les calculs pour anticiper le

risque de blessure, et d'être critique dans le choix du calcul A:C. Un autre aspect est relié au fait que le A:C se base sur une moyenne glissée qui attribue une importance égale à tous les stimuli induits dans les fenêtres aiguë et chronique et donc ce ratio ne permet pas de décrire les variations à travers une fenêtre temporelle donnée (Menaspà, 2017).

Dans plusieurs études où les chercheurs explorent la relation entre le A:C et le risque de blessures, les valeurs de A:C sont fréquemment transformées en catégories (Bowen, Gross, Gimpel, & Li, 2017; Carey et al., 2016; Hulin et al., 2016). Cette manipulation, qui se nomme discrétisation, correspond à la transformation de données brutes et continues en variables catégorielles, que ce soit par l'utilisation d'intervalles de valeurs, de score-z ou de percentiles, notamment (Carey et al., 2018). Par contre, selon Carey et coll. (2018), il semble que cette stratégie ne soit pas adéquate et optimale pour fournir un profil clair et précis sur l'incidence de blessures. Si l'on prend l'étude de Gabbett (2016) à titre d'exemple, la discrétisation utilisée accorde un risque de blessure équivalent à tous les athlètes qui ont un A:C supérieur ou égal à 2.0, alors qu'en réalité c'est probablement faux. De plus, la catégorisation risque d'être différente d'une étude à l'autre et le fait de transformer les valeurs continues en valeurs discrètes engendre inévitablement une perte d'informations. Lors d'une analyse longitudinale, Carey et coll. (2018) suggèrent que l'utilisation de valeurs continues est probablement plus appropriée pour évaluer la relation entre la charge d'entraînement et la probabilité de blessures.

Lolli et coll. (2018) ont récemment étudié la relation entre la charge aiguë et la charge chronique afin de déterminer si elles étaient associées entre elles. Avec les données de 24 joueurs de soccer de la *English Premier League* suivis sur 38 semaines, ils ont pu voir que le A:C présentait

une relation inverse négative avec la charge chronique (Figure 6), cette dernière étant représentée par le dénominateur dans le A:C ($r = -0.50$, IC 95% = -0.71 à -0.18). Selon les auteurs, la charge d'entraînement aiguë à elle seule pourrait servir à évaluer et quantifier le risque de blessure, même si cela peut sembler contre-intuitif en raison du grand nombre d'études qui ont mis de l'avant l'utilisation et l'importance du A:C pour la quantification du risque de blessure.

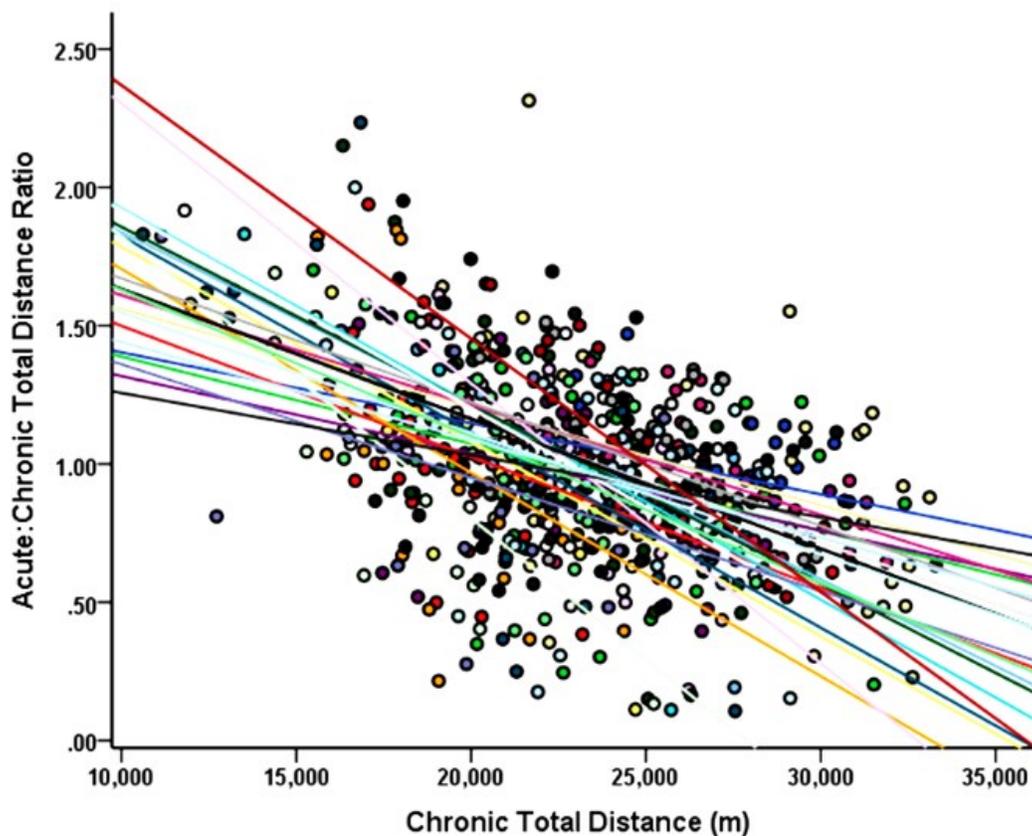


Figure 6. Tirée de Lolli et al. (2018). Association entre le A:C (7:28) de la distance parcourue (parties et pratiques) et la charge d'entraînement chronique pour chacun des joueurs de soccer professionnel ($n=24$) de l'étude.

Récemment, quelques chercheurs, qui persistent à étudier la relation entre la charge d'entraînement et le risque de blessures, se questionnent à savoir si l'utilisation des moyennes

glissées représente la meilleure option, étant donné qu'elle représente davantage une mesure de rapport qu'une mesure de changement. En effet, les moyennes glissées ne semblent pas permettre de représenter adéquatement les variations quotidiennes de charge d'entraînement qui se produisent à travers les fenêtres temporelles aiguës et chroniques. Par exemple, plusieurs athlètes pourraient avoir le même A:C dans une fenêtre temporelle donnée, alors que leur charge d'entraînement cumulée pourrait être très différente (voir Figure 7 pour un exemple).

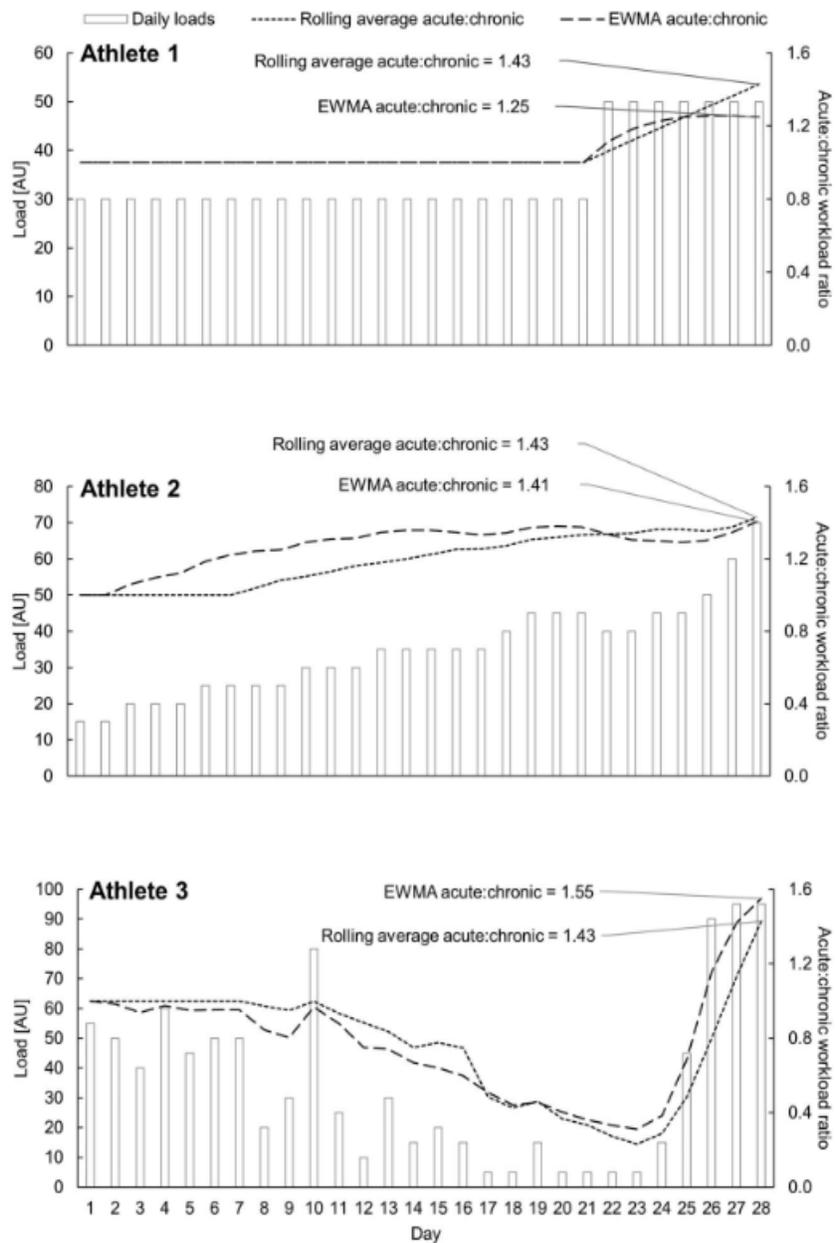


Figure 7. Tirée de Williams, West, Cross et Stokes (2017). Comparaison de l'accumulation de la charge d'entraînement et du A:C pour trois athlètes différents sur une même fenêtre temporelle.

À partir de cette figure, on peut reconnaître qu'une même activité effectuée il y a 2 jours ou 28 jours ne devrait pas recevoir la même pondération, car elle n'aura certainement pas le même impact sur l'état de fatigue et de forme d'un athlète. En outre, les moyennes glissées ne tiennent pas compte de la nature de la diminution de la forme physique ainsi que l'effet de la fatigue au fil du temps (Murray, Gabbett, Townshend, & Blanch, 2016), ce qui laisse certains auteurs douter de la pertinence de son utilisation.

3.3 Moyennes glissées pondérées exponentielles (EWMA)

3.3.1 Introduction aux moyennes glissées pondérées exponentielles (EWMA)

Pour pallier à certaines des critiques discutées précédemment vis-à-vis les moyennes glissées, Williams et son équipe ont évalué l'intérêt d'utiliser des moyennes glissées pondérées exponentielles (EWMA: *Exponentially Weighted Moving Average*) (Williams, West, et al., 2017). Le calcul du ratio aigu:chronique reste essentiellement le même, mais une pondération décroissante est attribuée pour chaque valeur de charge d'entraînement antécédente. La formule qui permet de calculer la valeur quotidienne est la suivante:

$$EWMA_{quotidienne} = charge_{quotidienne} \times \lambda_a + ((1 - \lambda_a) \times EWMA_{jour\ précédent})$$

où

$$\lambda_a = \frac{2}{N + 1}$$

et où $charge_{quotidienne}$ représente la valeur quotidienne de la charge externe, N est la durée de la fenêtre temporelle et λ_a est une valeur comprise entre 0 et 1 qui représente la décroissance.

3.3.2 Comparaison des moyennes glissées traditionnelles et pondérées exponentielles

Dans un article récent, Murray et son équipe (2016) ont comparé l'utilisation de moyennes glissées avec les moyennes glissées pondérées exponentielles à partir de données cumulées sur deux saisons avec des joueurs de football australien. L'objectif de leur étude était de voir si ces deux méthodes de suivi du A:C présentent des différences dans la probabilité de blessure, à partir de certaines variables comme la distance totale parcourue et la distance parcourue à haute vitesse (18.01-24.00 km/h). Les valeurs de A:C ont été catégorisées dans cinq intervalles différents: très faible (≤ 0.49), faible (0.50-0.99), modéré (1.00-1.49), élevé (1.50-1.99) et très élevé (≥ 2.00). Le risque de blessure a été fortement corrélé avec les valeurs élevées de A:C (≥ 2.00) pour la distance totale parcourue (RR = 6,52-21,28) et la distance parcourue à haute vitesse (RR = 5,87-13,43) et ce, peu importe la méthode de calcul. Par contre, les auteurs ont remarqué que l'approche utilisant EWMA était plus sensible pour détecter l'augmentation du risque de blessure, autant en pré-saison qu'en saison régulière. À partir de mesures sur la distance totale parcourue, les auteurs ont comparé la relation entre le A:C et l'incidence de blessures, pour deux catégories de A:C (>2.0 et 1.0-1.49). Ils ont remarqué que l'utilisation des EWMA permettait d'obtenir un risque de blessure deux fois plus élevé (RR = 13.43, IC 95% = 12.75-14.14, $p=0.001$) en comparaison avec les moyennes glissées (RR = 5.87, IC 95% = 4.12-8.36, $p=0.010$) (Murray et al., 2016).

3.4 L'interprétation des données de suivi longitudinal

Dans les diverses études qui ont pour but d'explorer les relations entre la charge d'entraînement et les blessures, les chercheurs recueillent des données de façon répétée au cours d'une période de temps prolongée. Cette méthode, parfois appelée "suivi longitudinal intensif", permet d'analyser certaines questions de recherche en lien avec les fluctuations de données dans

le temps (Windt et al., 2018). Dans plusieurs articles mentionnés précédemment, les auteurs ont tenté d'interpréter en quoi les variations de la charge d'entraînement au cours d'une saison affectent l'occurrence de blessure (Jones, Griffiths, & Mellalieu, 2016). À travers les différentes revues systématiques traitant de cette relation, il semble que les différentes approches statistiques n'ont jusqu'à maintenant été peu considérées (Windt et al., 2018). Par contre, selon Lemon et al. (2016), il semble que le choix d'approches statistiques plus rigoureuses, fidèles et représentatives des données pourrait mener à une amélioration notable dans la qualité des travaux et leur généralisation. En effet, les conclusions et les résultats d'une étude pourraient être faussés ou biaisés si la méthode statistique n'est pas adéquate ou s'il s'avère que la méthode choisie est mal appliquée ou interprétée (Windt et al., 2018). Sur les 34 études dans la revue méthodologique de Windt et al. (2018), 64% d'entre elles ont utilisé une méthode quelconque de régression pour tenter d'associer les variations de charge d'entraînement à l'incidence de blessure. Une des méthodes les plus utilisées est la régression logistique, où une modélisation est créée à partir de variables de charge d'entraînement auxquelles est associé le statut de l'athlète (soit "blessé" ou "non-blessé"). Près de 30% des études ont quant à elles utilisé des méthodes de corrélations, visant souvent à associer la charge d'entraînement moyenne hebdomadaire ou mensuelle à l'incidence de blessure pour l'ensemble de l'équipe. Dans cette revue méthodologique, les auteurs soutiennent que ces approches statistiques ne sont pas les plus appropriées pour analyser les variations lors d'un suivi longitudinal, car elles ne permettent pas de répondre en quoi le passage du temps a un effet sur le risque de blessure. Il semble plutôt que les analyses chronologiques, comme le modèle de risques proportionnels de Cox et le modèle de fragilité, ainsi que les modélisations multi-niveaux soient les plus adéquates et adaptées pour évaluer les variations longitudinales (Windt et al., 2018). Au cours des dernières années, les approches bayésiennes ont gagné de plus en plus d'attention, car

elles permettent notamment d'obtenir la distribution sur l'incertitude d'une probabilité et offrent une plus grande flexibilité dans la définition du modèle et des hypothèses (Levy, 2011; Muthén & Asparouhov, 2012). Finch et Cook (2014) ont tenté de créer un modèle, à partir d'une approche de modélisation statistique bayésienne, qui permettrait de modéliser avec précision les données et les risques de blessure subséquente.

4 La mesure et le suivi des charges interne et externe au hockey

Il y a eu une vague d'études explorant la relation entre la charge d'entraînement et le risque de blessures depuis environ une dizaine d'années, notamment au rugby (Hulin et al., 2016), au soccer (Bowen et al., 2019) et au cricket (Warren et al., 2018). Il est possible d'expliquer ce constat, d'une part en raison de la disponibilité d'outils technologiques dans les pays investissant davantage dans le sport comme l'Australie, l'Angleterre, et les États-Unis par exemple. D'autre part, ayant pour objectif de repousser toujours plus loin les performances des athlètes, les organisations sportives visant à prolonger la carrière de ces derniers ont alloué des ressources croissantes pour réduire le risque de blessures. Plusieurs entreprises y ont également vu une opportunité de développer de nouveaux marchés et ont travaillé au développement de technologies permettant de mieux mesurer, de manière objective, le travail accompli par les athlètes. Malgré la disponibilité de nouvelles technologies, il semble que peu d'études aient cherché à quantifier le travail accompli au hockey sur glace, tant par la mesure de la charge interne que la charge externe. Le sommaire des quelques études sur ces mesures sera présenté dans les sections suivantes.

4.1 Mesures de charge interne au hockey

Comme mentionné précédemment, très peu de chercheurs se sont intéressés à la mesure de la charge interne au hockey sur glace, une alternative qui est pourtant souvent moins coûteuse et plus accessible que la mesure de la charge externe. En fait, seul Horowitz (2014) a rapporté des mesures de sRPE chez neuf athlètes féminines de hockey universitaire, étudiées pendant quatre semaines consécutives, dont trois semaines de saison régulière et une semaine de séries

éliminatoires. L'étude était principalement descriptive, permettant notamment de comparer la charge d'entraînement totale par semaine selon les différentes positions ou le niveau d'expérience. Les résultats ont montré que les joueurs d'avant avaient la charge totale de travail hebdomadaire la plus élevée, avec près de 12% de plus que les gardiens de but, qui eux avaient la plus faible charge de travail. Ils ont également constaté que les joueurs de troisième année avaient une charge de travail hebdomadaire 24% plus élevée que les joueurs de première année. Horowitz mentionne que de futures recherches pourraient permettre d'établir ou de valider une valeur moyenne de charge d'entraînement hebdomadaire au hockey universitaire (Horowitz, 2014).

4.2 Mesures de charge externe au hockey

Avant même les années 2000, quelques chercheurs avaient fait une analyse de performance au hockey avec des joueurs de calibre universitaire. Par simple analyse notationnelle, par observation directe et l'utilisation de caméras pour filmer les séquences, Green et ses collaborateurs (Green et al., 1976) ont récolté des informations comme le temps de jeu, le temps de récupération entre les présences ainsi que la distance parcourue. Grâce à celles-ci, ils ont pu estimer les différences de travail fourni (par les temps d'effort, les vitesses de déplacement et la lactatémie, entre autres) entre les positions des joueurs au cours d'une partie. Les résultats (Tableau 2) montrent que les défenseurs passent davantage de temps sur la glace (1682 ± 261 s), mais à vitesse inférieure en comparaison avec les attaquants qui, de leur côté, passent moins de temps sur la glace au cours d'une partie (centres = 1247 ± 93 s; ailiers = 1403 ± 283 s).

Period	Position*	N	Actual Playing 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	
	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	174 ±6.3 [§]
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	
	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	171 ±7.4
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	
	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	174 ±2.4
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	
	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	173 ±5.4

*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 2. Tiré de Green et al. (1976). Mesures de charge externe chez des joueurs de hockey universitaire (n=8) par position (C = centre, W = ailiers, D = défenseurs) et par période de jeu au cours d'une partie.

Récemment, un groupe de chercheurs français a étudié le développement de la fatigue, définie comme la réduction de l'activité à intensité élevée, pour dix joueurs de hockey de niveau élite au cours d'une partie (Brocherie, Girard, & Millet, 2018). À l'aide de caméras disposées à certains endroits stratégiques dans l'aréna, ils ont pu filmer les séquences de jeu, qui ont ensuite été découpées et analysées avec un logiciel d'analyse vidéo. À partir des séquences, ils ont été en mesure de comptabiliser le temps de jeu avec la rondelle en action, le temps d'arrêt de jeu, le temps entre les présences ainsi que le nombre de présences sur la glace. Ils ont également décidé de classer les actions des joueurs en deux catégories: basse et haute intensité. Les actions à basse intensité sont notamment les glissements, le maintien de la position debout et le patinage à vitesse faible. Le patinage rapide vers l'avant (~22 km/h) ou l'arrière (~18 km/h) ainsi que les accélérations (~30 km/h) sont classés comme étant des actions de haute intensité.

Au cours d'une partie, ils ont observé qu'environ 84% des actions d'un joueur de hockey de ce niveau sont effectuées à basse intensité. Il faut donc comprendre, à partir de cela, que les actions à haute vitesse sont relativement rares (< 16%) (Tableau 3). Ils ont aussi noté que la durée des accélérations vers l'avant diminue significativement de la première à la troisième période ($-54.8 \pm 20.7\%$, $p < 0.01$). À partir de ces résultats, il faut réaliser que le hockey requiert une grande capacité à répéter des sprints et à effectuer des changements de direction répétés sur la glace (Noonan, 2010). Il est certain que les joueurs évalués ne représentent qu'un très faible pourcentage de joueurs de ce calibre, mais les résultats actuels montrent une incapacité à soutenir les efforts de haute intensité en troisième période.

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 3. Tiré de Brocherie et al. (2018). Fréquence, durée moyenne et pourcentage du temps de glace pour les différentes actions de patinage chez des joueurs de hockey de niveau élite (n=10) au cours d'une partie.

Dans un autre ordre d'idées, tout juste avant les années 2000, Bracko et son équipe (1998) ont tenté de déterminer s'il y a des différences dans la performance en patinage entre les joueurs qui faisaient plus ou moins de points lors des parties. À l'aide d'enregistrements vidéo de toutes les parties à domicile des Islanders de New York lors de la saison 1997-1998, les chercheurs ont pu faire une analyse exhaustive des actions de patinage. En comparant six joueurs plus performants au niveau des points avec six joueurs moins performants, ils ont remarqué que les joueurs plus offensifs passent davantage de temps sur la glace, mais également ont un pourcentage supérieur par présence de temps passé à glisser à deux pieds, avec ou sans la rondelle (43.1% vs 35.5%) (Bracko et al., 1998). Les joueurs moins performants offensivement passent plus de temps par

présence à se balancer de l'avant vers l'arrière ou vice-versa, en plus de glisser plus souvent pour tourner.

Bien que ces études nous permettent de mieux comprendre les exigences de la pratique du hockey sur glace, à ce jour, aucune étude n'a présenté des données recueillies sur une période prolongée de sorte à en faire une analyse longitudinale. La mesure de la charge d'entraînement étant nécessaire pour en faire le suivi et établir une relation quelconque avec le risque de blessure, le hockey sur glace devra faire l'objet de travaux supplémentaires pour comprendre les enjeux spécifiques à ce sport. La section suivante présentera l'étude originale (sous forme d'article) dont ce mémoire fait l'objet et qui porte sur les associations entre les mesures de charge interne et externe et le risque de blessure au hockey professionnel. L'objectif de cette étude est d'explorer la relation entre les variations de charge externe, de bien-être et de traitement avec le risque de blessure en examinant les distributions et les variations observées du ratio aigu:chronique (A:C) à partir de différents types de données collectées chez des joueurs de hockey professionnels au cours d'une saison.

5 Article

Associations between external load, wellness and treatment frequency with injury incidence in professional ice hockey

Deguire S¹, Martinez R¹, Delisle-Houde P², Allard P^{1,2}, Tremblay J¹.

¹École de Kinésiologie et des Sciences de l'Activité Physique (EKSAP), Faculté de Médecine, Université de Montréal

²Montreal Canadiens Hockey Club, Montreal, Canada

Prepared for submission in British Journal of Sports Medicine (BJSM)

ABSTRACT

Objectives We investigated the relationship between external load, wellness and treatment variations with injury risk by examining A:C distributions and variations among professional ice hockey players across a season. **Methods** Fifty elite male American Hockey League (AHL) players participated in this study. External load was collected during on-ice sessions using portable inertial measurement units. Daily wellness surveys assessed the players psychological measures. Injury and treatment data were extracted from medical reports. Acute:chronic ratio (A:C) were calculated for all variables using coupled exponentially weighted moving averages. Odds ratios (OR) with 0.1 increments were calculated from a Bayesian logistic regression. **Results** Pain A:C (OR = 0.70, HPD = [0.56, 0.84]) and treatment A:C (OR = 1.60, HPD = [1.05, 2.22]) reached significance, meaning that for a 0.1 increment of pain A:C and treatment A:C, the probability of being in an acute injury period decreased by 0.70 and increased by 1.60, respectively. However,

PlayerLoad™ A:C did not reach significance (OR = 1.07, HPD = 0.96, 1.18)]. **Conclusion** This study provides evidence that variations of treatment and pain are the most correlated with the probability of being in an acute injury period. Small changes in A:C for these variables could be sensitive enough to detect a change in this probability.

Keywords: acute:chronic, workload, questionnaire, injury risk

INTRODUCTION

With professional sport evolving in an extremely competitive industry, teams must make most of their investment by having the best players ready to play [1]. Consequently, sports scientists and strength & conditioning (S&C) coaches must find strategies to minimize the risk of injury, as their occurrence can significantly impact athletes' career and lead to important financial losses [2–4]. In the National Hockey League (NHL), from seasons 2009-2010 to 2011-2012, more than half of the players (50.9%) missed at least one game per year due to injury [3]. In a recent systematic review by Drew and Finch [5], the sports injury was defined as an event requiring medical attention or leading to time loss (training or competing). Injury incidence relies on a multitude of factors, such as fitness, age, and history of injury and training [6]. Injuries can be divided into three typical etiologies, namely acute trauma, muscle strains and illness. As trauma comes from a collision or contact (e.g., bodycheck, fall, knee to knee contact), these injuries are sometimes removed from studies because of their unpredictable occurrence [7]. However, it must be considered that in professional ice hockey, one of the most damaging injuries in terms of game missed are the ones coming from a body check [8].

In order to mitigate the risk of injuries, many sport organizations have implemented training load monitoring to better understand the sport's demands and the athlete's individual response. Skillful management of training loads may help attenuate fatigue levels of the athletes, in order to optimize their performance and their state of readiness to play [9]. Therefore, sports scientists and S&C coaches must work with the coaching staff to implement sport-specific and individualized training programs with workload targets aiming to sustain or improve sports performance [5,10]. Traditionally, researchers have associated high training loads with a higher risk of injury [11]. More recently, a high chronic training load was suggested to protect athletes from injury; however, careful attention must be paid to sudden increases in training load as they may lead to an increase risk of injury [12]. Although the use of acute:chronic ratio (A:C) for load variables has been recently criticized [13–18], it has gained popularity from sports scientists as a method to monitor injury risk from training load data. This method, typically comparing the average of the last week training load with the average of the last four weeks, has proved to be a reliable tool to monitor injury risk from external load variables in multiple team sports [19]. However, few researchers have mentioned the importance of using a ratio that was specific to the demands of the sport [20,21]. The exponentially weighted moving average (EWMA) method has been recently suggested, which assigns more weighting to the most recent load, thus giving less weighting to the older loads assumed by the athlete [14] and seemed to better detect injury risk [22].

Recent recommendations highlight the importance of mixing external load with athlete-reported measures which can be collected using daily questionnaires, such as psychological measures (e.g., recovery, stress) and lifestyle factors (e.g., sleep quality, nutrition) [23]. Subjective measures are often not correlated with objective measures, which help sports scientists and S&C coach to get a broader understanding of the impact of training load variations [24]. In addition, communication

quality between the medical and training staff seems to be correlated with the injury rate [25]. The current study aims to explore the relationship between external load, wellness and treatment variations with injury risk by examining A:C distributions and variations among professional ice hockey players across the season. We hypothesized that information provided by wellness questionnaires, measures of external load, as well as medical information, could better frame the multifactorial causes of injury.

METHODS

Participants

Fifty elite male American Hockey League (AHL) players participated in this study (age: 23.7 ± 3.7 years; height: 184.2 ± 5.3 cm; body mass: 89.5 ± 6.8 kg). Only players under contract in the NHL or AHL were considered in this study. 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

External Load Measurement

External load was measured by the PlayerLoad™ (PL), which was collected during the 2017-2018 season. Player accelerations were assessed using an inertial measurement unit (IMU) (ClearSky T6, Catapult Sports, Melbourne, Australia) as previously described in Allard, Martinez, Deguire & Tremblay (2019). PL has been tested and qualified as a reliable metric to quantify the training load in hockey [26] and was used to calculate the overall daily workload for every player. As such,

if the athlete skated the morning of a game and then played at night, the sum of both PL activities corresponded to the daily value. For the days with no on-ice activity, a zero (0) was attributed to the daily value. 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 were recorded at a sampling frequency of 100 Hz and downloaded from each device using the manufacturer's software and firmware (Catapult Openfield, version 1.15.3, Melbourne, Australia; firmware version 4.2). Data were aggregated for each training session and game by drill or period, respectively, thus removing inactive time or transitions.

From the training camp on the last week of September until the end of the regular 2017-18 season (29 weeks), a total of 279 unique sessions (game = 78; practice = 69, morning skate = 42; injured skate = 62; optional skate = 1; healthy scratch skate = 10, skill sessions = 17) were collected, representing 3328 individual on-ice training and game on a total of 3395 sessions (98%), during the course of the season until mid-April, for a total of 29 weeks. The players wore the Catapult device for every session that occurred on ice, whether it was for a game, training session or return to play conditioning. Missed sessions (<2%) occurred when a player had misplaced a unit, had forgot to wear it or the unit was not turned on.

Wellness Assessment

Wellness was assessed using a custom-made webform sent daily via SMS, at the same time every morning, from which 4377 responses were collected (response rate = 85.9%, 4377/5090). The athletes were required to provide ratings for perceived quality of sleep, recovery and pain using the Category Ratio (CR) 10 [5,27,28], "0" corresponded to the lowest score and "10" the highest. Obviously, the interpretation is different between the three variables: a "10" would be ideal for

sleep quality and recovery, while a “0” would be ideal for pain. Prior to the beginning of the season, and whenever new players joined the team, one of the researchers informed the participants on the data collection process and how the information would be used.

Injury and Treatment Data Collection

Daily medical report was produced by the medical and therapist team which provided information on the athlete’s readiness/ability to play or practice, on the rehabilitation progress and on daily treatments. Regarding daily treatments, we associated “1” to treatment and “0” otherwise. Summary paragraph provided information on the player's injuries, the date of the event and the reason. Injuries were defined as events that needed medical intervention/attention and resulted in a time loss, either for games or practices [5]. In addition to the information mentioned above, injuries were also classified by the type of injury (i.e., strain, trauma or illness). In total, 20 injuries were reported (trauma = 13, illness = 4, strain = 3).

A:C Computation

In the AHL, the games played in a week are generally condensed in a 4-day period. The first days of the week are often practice days, both on- and off-ice. Most games are played past midweek and on weekends. Considering those schedule’s characteristics, it was determined that an acute window of 4 days was the most specific to professional hockey in the AHL. In addition, the chronic window was set to 16 days to respect the original ratio method [30], in which the chronic period is four times the length of the acute. A:C were calculated using the exponentially weighted moving average (EWMA) method, since this method seems to have a better sensitivity with injury risk [22].

The same ratios were used to monitor wellness measures and treatment frequency. In order to calculate A:C, all values were increased by 1 to avoid division by zero. To interpret all A:C variations in the same direction, recovery and sleep quality values were transformed by doing $10 \cdot x$, where x is the recovery and sleep quality answers vector.

Statistical Analysis

First, A:C variations during the acute injury period were investigated using linear mixed modelling. Second, to investigate the relationship between our different A:C variables and injury risk, two groups of data were considered. The first group, labelled as “injured”, is defined as the data collected during the acute period (4 days) before an injury, including the day of the injury (i.e., acute injury period). Knowing that steep A:C variations can increase the risk of injury for a sustained period of time [28], we consider this acute window, as the A:C recorded only on the day of the injury might have a small relationship with the risk of injury. The second group, labelled as “non-injured”, is defined as the data of uninjured players. In this dataset, the two classes are not equally represented ($n_{\text{injured}} = 99$ and $n_{\text{non-injured}} = 3709$). The number of total observations is higher than the 3328 individual sessions completed as days with no on-ice activity were added (and attributed a null value), in order to create a dataset containing one row per day per athlete. Having such unbalanced binary classification problem could lead to a poor data modelling process [29]. To deal with this issue, we used a cluster-based under-sampling strategy for selecting the representative data of the majority class [30]. A Bayesian generalized linear model was then fitted on the data. The Bayesian framework was chosen as it provides a rich set of results that are straightforward to interpret in terms of probabilistic statements, which is particularly useful when estimating an injury risk. We used Student-T distributions as weakly informative priors with parameters $\beta \sim StudentT (nu = 5, mu = 0, lam = 0.1)$ as recommended in Gelman et al. [31]. We

then reported the coefficients as the mean of the posterior distribution and the 95% highest posterior density (HPD) interval, which contains 95% of the posterior distribution. We define a statistically significant coefficient when the HPD does not contain zero. The estimated coefficients correspond to the change in the log odds of the outcome for a one unit increase in the predictor variable. For ease of interpretation, we also reported the odds ratio with a pre-determined increment of 0.1, defined as $e^{coef^{0.1}}$. To confirm that the Bayesian sampling has adequately inferred the posterior distribution from our model specification, we compared the posterior distributions to the distribution of the outcome variable in our dataset.

RESULTS

A:C Distributions During the Season

The A:C distributions (Fig. 1) showed a mean around 1 for all variables and most values ranged from 0.6 to 1.4. While other variables seem to be symmetrically distributed, PL A:C is wider and negatively skewed and treatment A:C is bimodal.

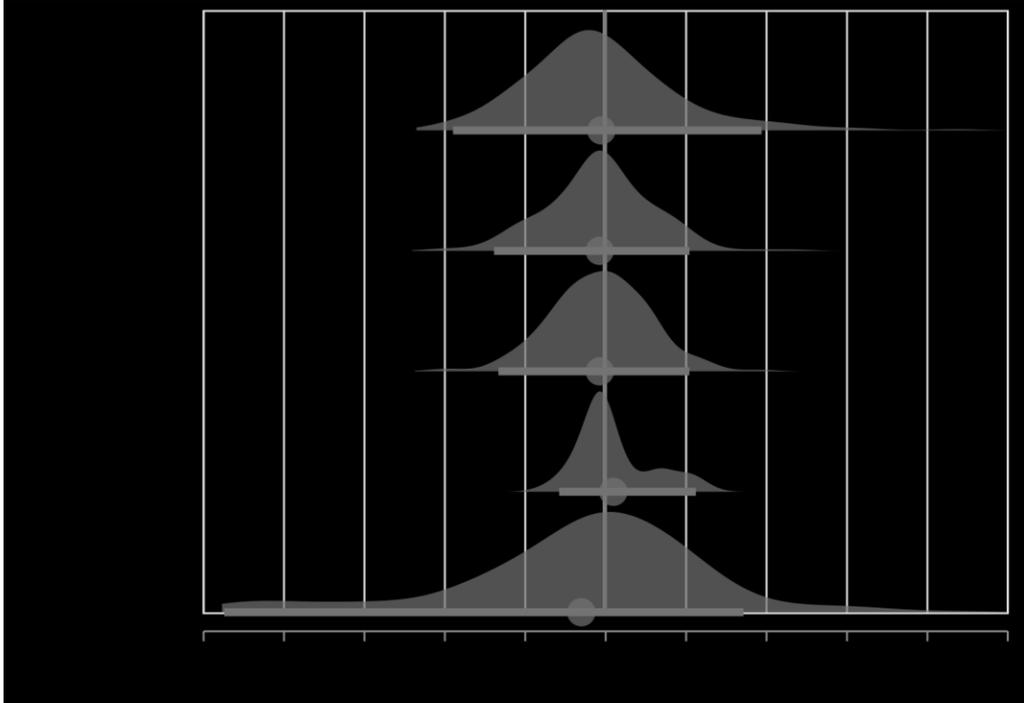


Figure 1. A:C distributions (area) with 95% HPD (horizontal line) and mean (point) for every variable (y-axis).

A:C Variations During the Acute Injury Period

Treatment A:C on the day of an injury (Fig. 2) was significantly higher from all of the other days of the acute injury period (from 1.06 ± 0.11 to 1.02 ± 0.09 , $p = 0.011$, $d = 0.41$). However, no significant inter-day differences were found in PL A:C (0.96 ± 0.21), recovery A:C (0.97 ± 0.11), sleep quality A:C (0.98 ± 0.12) and pain A:C (0.95 ± 0.14).

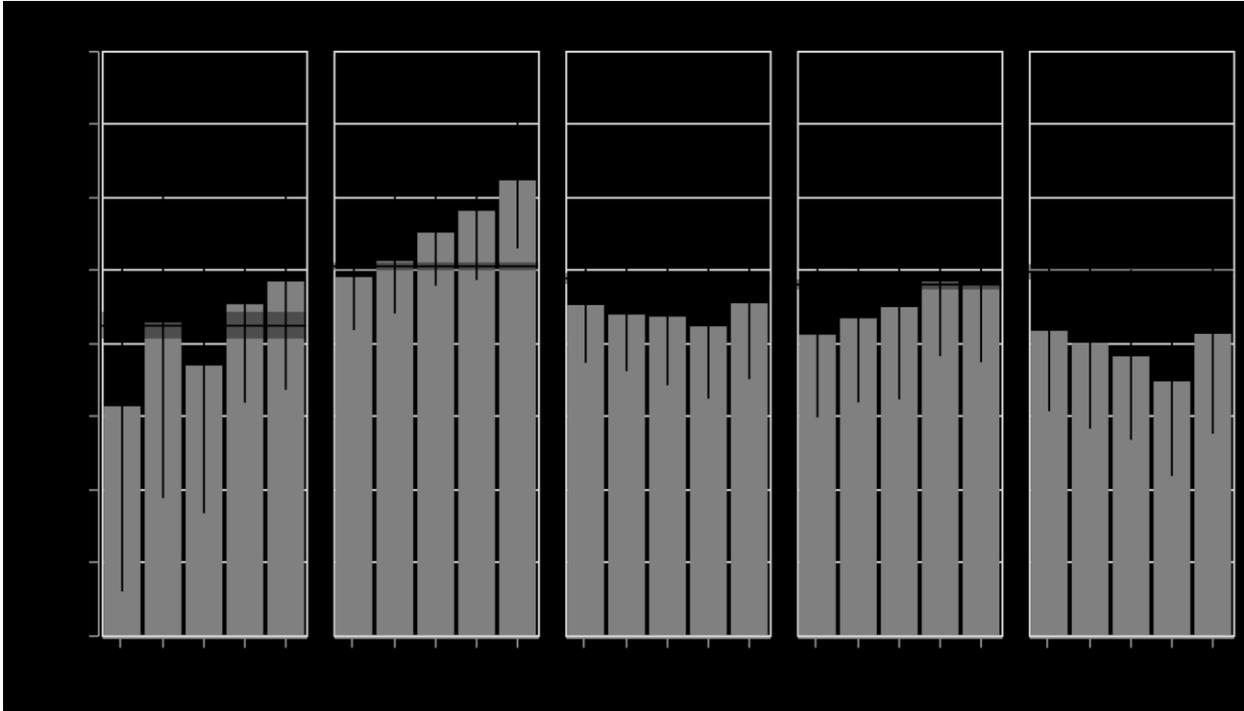


Figure 2. Mean A:C by variable (columns) and day (x-axis) prior to injury with 95%-confidence-interval (error bar). Mean A:C of the uninjured players throughout the same days (horizontal black line) with 95%-confidence-interval (shaded area) are also displayed.

Association Between A:C Variables and Acute Injury Period

Based on the posterior distributions of the coefficients (Fig. 3), treatment A:C (mean = 4.51, HPD = [0.81, 8.21]) and pain A:C (mean = -3.62, HPD = [-5.71, -1.57]) coefficients were significantly different from 0 (i.e., HPD does not contain 0). PL A:C (mean = 0.64, HPD = [-0.35, 1.71]), recovery A:C (mean = -3.26, HPD = [-7.78, 0.87]) and sleep quality A:C (mean = 2.28, HPD = [-1.52, 6.20]) coefficients did not reach significance.

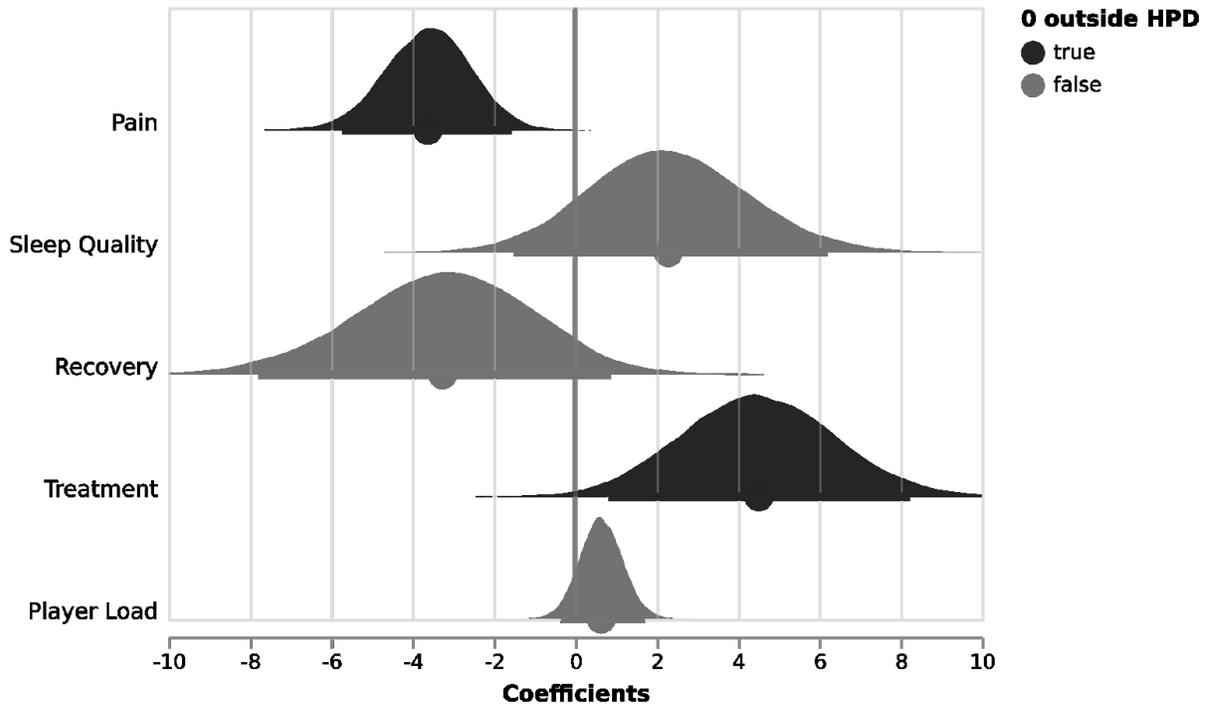


Figure 3. Posterior distributions of the Bayesian logistic regression coefficients (area) with 95% HPD (horizontal line) and mean (point) for every variable (y-axis). Darker grey distribution is displayed when the HPD does not contain the reference value (0).

The Bayesian logistic regression odds ratio (Fig. 4) showed that pain A:C (mean = 0.70, HPD = [0.56, 0.84]) and treatment A:C (mean = 1.60, HPD = [1.05, 2.22]) kept being significant, meaning that for a 0.1 increment of pain A:C and treatment A:C, the risk of being in an acute injury period was decreased and increased by 30% and 60%, respectively. PL A:C (mean = 1.07, HPD = 0.96, 1.18), recovery A:C (mean = 0.74, HPD = [0.44, 1.06]) and sleep quality A:C (mean = 1.28, HPD = [0.81, 1.79]) odds ratio did not reach significance.

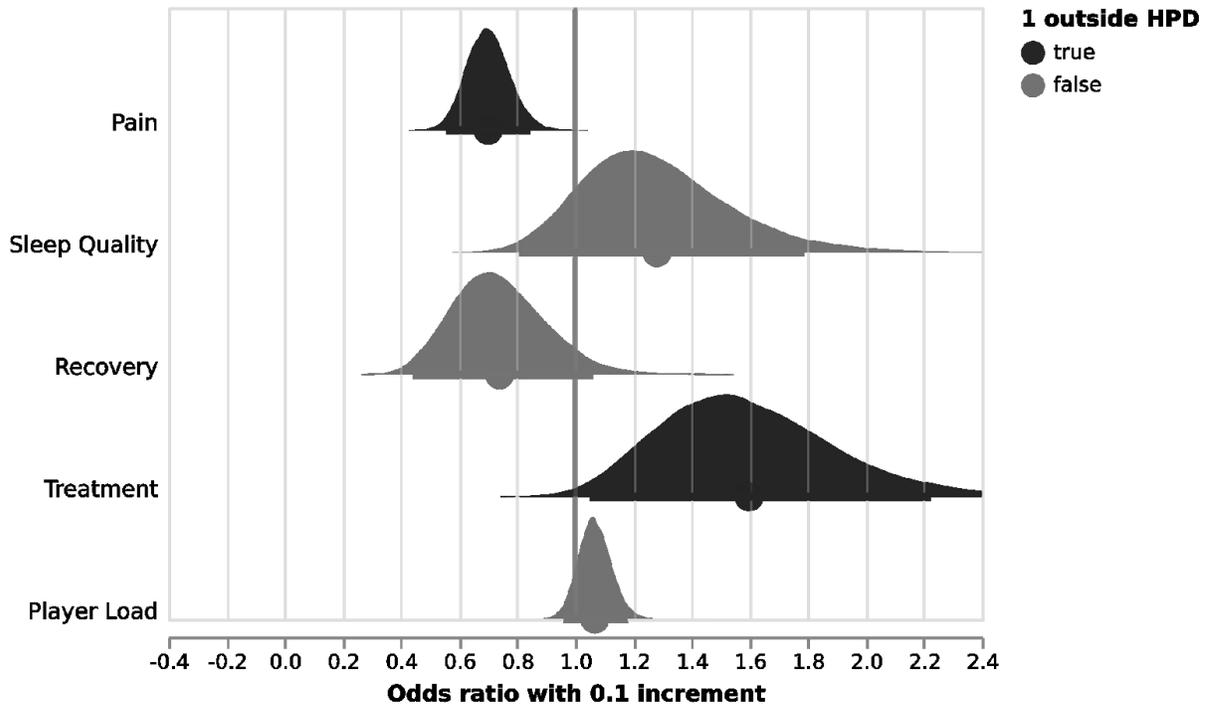


Figure 4. Posterior distributions of the Bayesian logistic regression odds ratios with 0.1 increments (area) with 95% HPD (horizontal line) and mean (point) for every variable (y-axis). Darker grey distribution is displayed when the HPD does not contain the reference value (0).

Our model showed that treatment A:C and pain A:C seemed to have an effect on the probability of being in an acute injury period. In order to understand how these A:C variations impact the probability of being in an acute injury period in isolation, we sampled from the posterior distribution while setting all other variables to their average values. From 10,000 simulated seasons (Fig. 5), pain A:C seemed to be almost perfectly negatively correlated with treatment A:C (from a probability of being in an acute injury period of 80% at A:C = 0.5, to 50% at A:C = 1, to 20% at A:C = 1.5). HPD were wider when moving away from a ratio of 0.5, particularly in treatment A:C. This means that we would need more data in these ranges.

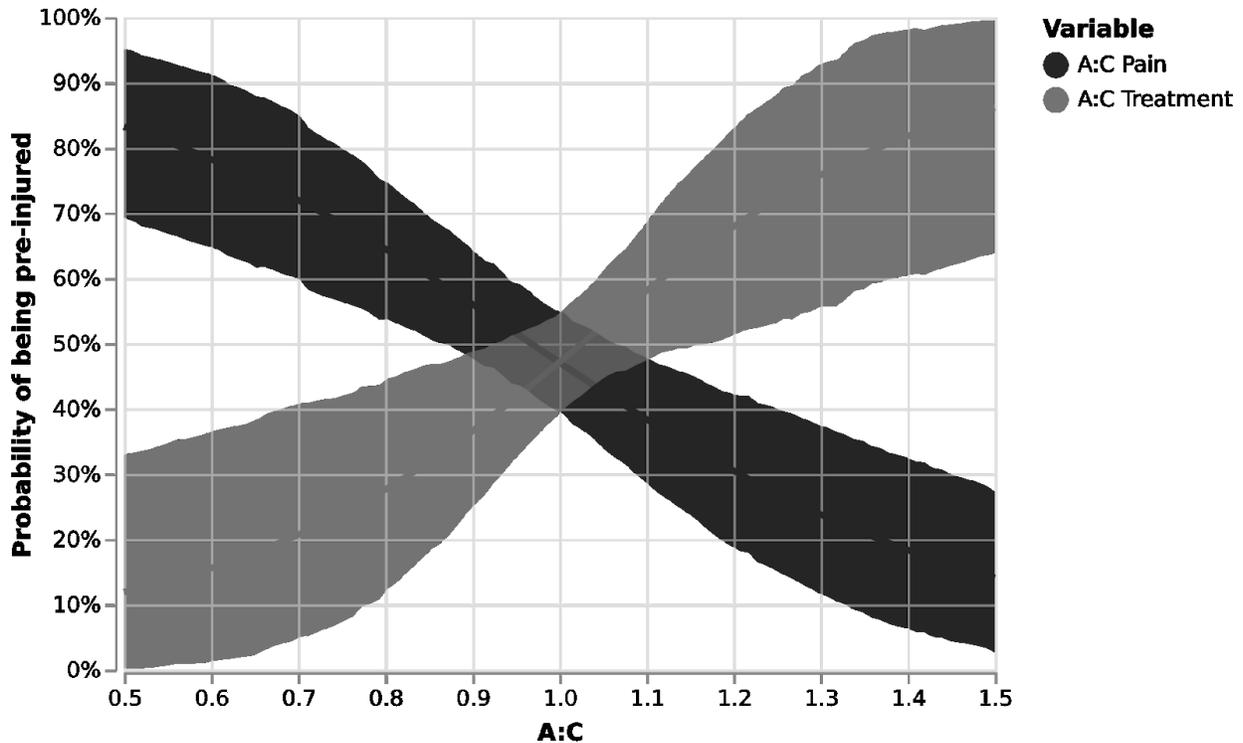


Figure 5. Mean (line) and 95% HPD probability (shaded area) of being in an acute injury period by pain A:C (darker grey) and treatment A:C (lighter grey) based on 10,000 simulated seasons.

DISCUSSION

The present study aimed to explore the relationship between external load, wellness and treatment variations throughout a professional ice hockey season with injury risk by examining A:C distributions and variations. We hypothesized that a combination of variables could better suit the multifactorial causes of injury. Treatment A:C and pain A:C were positively and negatively correlated with the probability of being in an acute injury period, respectively. However, PL A:C did not seem to have a significant relationship with injury.

A:C Distributions During the Season

A:C distributions throughout the season showed means of all variables were around 1.0. This is in accordance with Allard, Martinez, Deguire & Tremblay (2019) reporting that weekly load remains

relatively constant throughout the season. Specifically, treatment A:C has a more condensed distribution around 1.0 and seems bimodal, which could be explained by the fact that the players tend to maintain a specific treatment frequency. When treatment frequency increased, it was short with relatively small spikes generating A:C of 1.33 or lower, as adding 1 treatment in the acute window increased A:C by 0.13. Regarding PL A:C, the distribution was more spread and negatively skewed because of consecutive games played in a short window of time and days off. Injury and return to play process can also explain the wide distribution, as PL A:C decreased after an injury. The longer the player does not have on-ice sessions, the lower the ratio will be. However, as rehabilitation skate begins, A:C will increase drastically.

A:C Variations During the Acute Injury Period

The acute injury window showed no statistically significant inter-day differences in A:C of PL, recovery, sleep quality and pain. Treatment A:C on the day of injury was significantly higher from all of the other days of acute injury period, which might be expected since players could have been treated right after the injury occurred.

Association Between A:C Variables and Acute Injury Period

Treatment and pain A:C coefficients were both significantly associated with the probability of being in an acute injury period (Fig. 3). Indeed, increments of 0.1 for treatment A:C, which were chosen as it was sensible enough to represent plausible treatment changes, could potentially increase the probability of being injured up to twofold in an acute window of time (OR=1.60, HPD = [1.05, 2.22]). The same increment in pain A:C could significantly reduce the probability of being in an acute injury period (OR=0.7). It might be explained by the fact that getting treated lowers the pain for the following day. However, pain reduction does not reduce the risk of injury since

pain is a protective mechanism of the body [35]. Although it is favorable to reduce it for the athlete's comfort, the risk of injury is not mitigated or decreased. Notwithstanding the assumption stated above regarding the decrease of the pain A:C as we get closer to an injury, the relationship between pain A:C and injury risk remains unclear and would require further research.

While many studies, mostly in soccer and cricket [30,36,37], have demonstrated an association between external load and injury risk, our results showed that it might not be the case in professional ice hockey. Bornn, Ward and Norman [17] reported that external load A:C and injury risk relationship can potentially be confounded with training and competition schedule. Moreover, considering that collisions are integral to this sport, players are at greater risk of traumatic injury, which what makes injury prevention even more difficult [7]. As the majority of injuries in this study were traumas, this could explain the non-relationship with external load factors that were usually associated with strain injuries. It would be interesting to repeat the same statistical analyzes with more strain injuries data compiled over several seasons.

Practical Applications

Our results suggest that a combination of internal and external load, and medical information would be appropriate and useful to anticipate an injury. From the present results, professional hockey teams should seriously consider monitoring the players' wellness and treatment occurrence throughout the season. A small increase of treatment A:C was associated with a higher risk of getting injured in an acute period. It should be noted that in order to facilitate monitoring, the medical and training staff need to have strong communication and collaboration to make sure all information is provided. The implementation of such monitoring could be relatively straightforward.

CONCLUSION

This was the first study to associate the risk of injury with external and internal load variables in professional ice hockey. Our results suggest that variations of treatment and pain are the most correlated with the probability of being in an acute injury period. Indeed, a 0.1 increment to treatment A:C can potentially lead to a twofold increase in this probability, although a 0.1 increment in pain A:C suggests a decrease in this probability. We hypothesized that this risk reduction could be explained by the fact that getting treated lowers the pain for the following day. Sports scientists and S&C coaches should communicate daily with therapists and the medical staff to obtain information on players who have undergone treatment and then assess their risk of being in an acute injury state.

What are the new findings?

- In professional ice hockey, an increment of 0.1 in treatment A:C can potentially lead to a twofold increase in the probability of being in an acute injury state.
- The same increment applied to pain A:C leads to a decrease in this risk.
- External load shows no significant relationship with injury risk in professional ice hockey.

How might it impact on clinical practice in the future?

- Our results provide initial recommendations for the use of A:C in professional ice hockey.
- Communication between training and medical staff to obtain information on players who have undergone treatment should be emphasized so the risk of being in an acute injury state is assessed.

Acknowledgments The authors would like to thank the Laval Rocket players for their cooperation, as well as their coaches for their time and enthusiasm toward the study.

Contributors JT designed the initial study proposal, which was presented to SD, PA and PD-H. Data were collected and entered by PA and SD. RM conducted the data processing and statistical analysis, JT and PD-H advised and checked the data analysis. SD wrote the main body of the article, which was revised multiple times by all authors. All authors are fully aware and understanding of the findings of the study and confident in the integrity of the research.

Funding This work was supported and funded by Mitacs and the Montreal Canadiens Hockey Club.

Competing interests None declared.

Patient consent for publication All participants gave their written informed consent.

Ethics approval Approval was obtained from the University of Montreal Human Health Research Ethics Committee (certificate #18-043-CERES-D).

REFERENCES

- 1 Soligard T, Schwelnus M, Alonso J-M, *et al.* How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *Br J Sports Med* 2016;**50**:1030–41.
- 2 Sikka R, Kurtenbach C, Steubs JT, *et al.* Anterior Cruciate Ligament Injuries in Professional Hockey Players. *Am J Sports Med* 2016;**44**:378–83.
- 3 Donaldson L, Li B, Cusimano MD. Economic burden of time lost due to injury in NHL hockey players. *Inj Prev* 2014;**20**:347–9.
- 4 Irshad K, Feldman LS, Lavoie C, *et al.* Operative management of ‘hockey groin syndrome’: 12 years of experience in National Hockey League players. *Surgery* 2001;**130**:759–66.
- 5 Drew MK, Finch CF. The Relationship Between Training Load and Injury, Illness and Soreness: A Systematic and Literature Review. *Sports Med* 2016;**46**:861–83.
- 6 Stares J, Dawson B, Peeling P, *et al.* Identifying high risk loading conditions for in-season injury in elite Australian football players. *J Sci Med Sport* Published Online First: 25 May 2017. doi:10.1016/j.jsams.2017.05.012
- 7 Carey DL, Blanch P, Ong K-L, *et al.* Training loads and injury risk in Australian football—differing acute: chronic workload ratios influence match injury risk. *Br J Sports Med* 2016;**50**:1215–20.

- 8 McKay CD, Tufts RJ, Shaffer B, *et al.* The epidemiology of professional ice hockey injuries: a prospective report of six NHL seasons. *Br J Sports Med* 2014;**48**:57–62.
- 9 Gabbett TJ, Whiteley R. Two Training-Load Paradoxes: Can We Work Harder and Smarter, Can Physical Preparation and Medical Be Teammates? *Int J Sports Physiol Perform* 2017;**12**:S250–4.
- 10 Foster C, Daines E, Hector L, *et al.* Athletic performance in relation to training load. *Wis Med J* 1996;**95**:370–4.
- 11 Windt J, Gabbett TJ, Ferris D, *et al.* Training load--injury paradox: is greater preseason participation associated with lower in-season injury risk in elite rugby league players? *Br J Sports Med* 2017;**51**:645–50.
- 12 Gabbett TJ, Hulin BT, Blanch P, *et al.* High training workloads alone do not cause sports injuries: how you get there is the real issue. *Br J Sports Med* 2016;**50**:444–5.
- 13 Menaspà P. Are rolling averages a good way to assess training load for injury prevention? *Br J Sports Med* 2017;**51**:618–9.
- 14 Williams S, West S, Cross MJ, *et al.* Better way to determine the acute:chronic workload ratio? *Br J Sports Med* 2017;**51**:209–10.
- 15 Lolli L, Batterham AM, Hawkins R, *et al.* The acute-to-chronic workload ratio: an inaccurate scaling index for an unnecessary normalisation process? *Br J Sports Med* Published Online First: 13 June 2018. doi:10.1136/bjsports-2017-098884

- 16 Lolli L, Batterham AM, Hawkins R, *et al.* Mathematical coupling causes spurious correlation within the conventional acute-to-chronic workload ratio calculations. *Br J Sports Med* Published Online First: 3 November 2017. doi:10.1136/bjsports-2017-098110
- 17 Bornn L, Ward P, Norman D. Training Schedule Confounds the Relationship between Acute: Chronic Workload Ratio and Injury. *sloansportsconference.com* Published Online First: 2019.<http://www.sloansportsconference.com/wp-content/uploads/2019/02/Training-Schedule-Confounds-the-Relationship-between-Acute-Chronic-Workload-Ratio-and-Injury.pdf>
- 18 Impellizzeri FM, Wookcock S, McCall A, *et al.* The acute-chronic workload ratio-injury figure and its ‘sweet spot’ are flawed. 2019. doi:10.31236/osf.io/g8yu
- 19 Drew MK, Blanch P, Purdam C, *et al.* Yes, rolling averages are a good way to assess training load for injury prevention. Is there a better way? Probably, but we have not seen the evidence. *Br J Sports Med* Published Online First: 19 September 2016. doi:10.1136/bjsports-2016-096609
- 20 Dupont G, Nedelec M, McCall A, *et al.* Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance and injury rate. *Am J Sports Med* 2010;**38**:1752–8.
- 21 Sampson JA, Fullagar HHK, Murray A. Evidence is needed to determine if there is a better way to determine the acute:chronic workload. *Br J Sports Med* Published Online First: 16 November 2016. doi:10.1136/bjsports-2016-097085

- 22 Murray NB, Gabbett TJ, Townshend AD, *et al.* Calculating acute:chronic workload ratios using exponentially weighted moving averages provides a more sensitive indicator of injury likelihood than rolling averages. *Br J Sports Med* 2016;**51**:749–54.
- 23 Verhagen E, Gabbett T. Load, capacity and health: critical pieces of the holistic performance puzzle. *Br J Sports Med* 2019;**53**:5–6.
- 24 Saw AE, Main LC, Gustin PB. Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *Br J Sports Med* 2016;**50**:281–91.
- 25 Ekstrand J, Lundqvist D, Davison M, *et al.* Communication quality between the medical team and the head coach/manager is associated with injury burden and player availability in elite football clubs. *Br J Sports Med* 2019;**53**:304–8.
- 26 Van Iterson EH, Fitzgerald JS, Dietz CC, *et al.* Reliability of Triaxial Accelerometry for Measuring Load in Men’s Collegiate Ice-Hockey. *J Strength Cond Res* 2016;:1.
- 27 Borg G. *Borg’s Perceived Exertion and Pain Scales*. Human Kinetics 1998.
- 28 Borg E, Kaijser L. A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scand J Med Sci Sports* 2006;**16**:57–69.
- 29 Hooper SL, Mackinnon LT. Monitoring Overtraining in Athletes. *Sports Med* 1995;**20**:321–7.
- 30 Hulin BT, Gabbett TJ, Blanch P, *et al.* Spikes in acute workload are associated with increased injury risk in elite cricket fast bowlers. *Br J Sports Med* 2014;**48**:708–12.

- 31 Orchard JW, James T, Portus M, *et al.* Fast bowlers in cricket demonstrate up to 3- to 4-week delay between high workloads and increased risk of injury. *Am J Sports Med* 2009;**37**:1186–92.
- 32 Japkowicz N, Stephen S. The class imbalance problem: A systematic study. *Intelligent data analysis* 2002;**6**:429–49.
- 33 Yen S-J, Lee Y-S. Cluster-based under-sampling approaches for imbalanced data distributions. *Expert Syst Appl* 2009;**36**:5718–27.
- 34 Gelman A, Jakulin A, Pittau MG, *et al.* A weakly informative default prior distribution for logistic and other regression models. *Ann Appl Stat* 2008;**2**:1360–83.
- 35 Butler DS, Moseley GL. *Explain Pain 2nd Edn.* Noigroup Publications 2013.
- 36 Bowen L, Gross AS, Gimpel M, *et al.* Spikes in acute:chronic workload ratio (ACWR) associated with a 5–7 times greater injury rate in English Premier League football players: a comprehensive 3-year study. *Br J Sports Med* 2019;**;**bjsports – 2018–099422.
- 37 Warren A, Williams S, McCaig S, *et al.* High acute:chronic workloads are associated with injury in England & Wales Cricket Board Development Programme fast bowlers. *J Sci Med Sport* 2018;**21**:40–5.

6 Discussion générale

Au cours de cette discussion, les principaux enjeux dans la tentative de prévention et d'anticipation des blessures au hockey professionnel seront détaillés, sans oublier d'aborder les principaux défis qui gravitent autour de cet objectif.

6.1 Les contraintes dans la collecte de données subjectives

Les données qui sont rapportées par les athlètes, par exemple à l'aide de questionnaires de bien-être quotidiens, fournissent des informations pertinentes à l'équipe de soutien, tel que mentionné à la section 2.1. D'après les résultats obtenus dans l'étude présentée précédemment, il faut se demander si les athlètes ont répondu de manière appropriée aux questions qui leur étaient posées quotidiennement. En effet, dans une saison impliquant des variations dans le temps de jeu d'un athlète et de multiples transports aériens ou terrestres, on aurait pu s'attendre à voir davantage de variations du A:C, quoique des résultats semblables ont été obtenus pour des mesures de charge interne chez des athlètes féminines de basketball de niveau collégial (Perrin & Rossi, 2019). Il en vient donc à se questionner si les réponses des athlètes représentaient bel et bien leur état du moment. Il se peut, d'un côté, que les variations aient été trop minimes et de courte durée pour avoir un impact considérable sur la valeur du A:C. D'un autre côté, il se peut que les athlètes aient été réticents à transmettre de l'information personnelle par peur que celle-ci soit utilisée à leur désavantage (biais de désirabilité), pensant que l'entraîneur pourrait réduire le temps de jeu d'un joueur ou sa présence à une partie en réaction à l'état rapporté d'un joueur (Schilaty, Nagelli, & Hewett, 2016). En effet, le stress et la douleur sont deux variables potentiellement biaisées étant donné que les joueurs associent généralement une hausse d'une de ces variables à un signe de "faiblesse". Cette croyance ou cette pensée des joueurs est tout à fait justifiable, car il est plutôt

rare que les athlètes soient portés à parler de ce qui les préoccupe au cours d’une saison (Kellmann, 2010). Malgré les explications données aux joueurs sur les outils de mesures et leur utilisation au début de l’étude, il se peut que cela n’ait pas été suffisant pour obtenir un engagement et une validité au niveau des données recueillies.

En pratique, un suivi hebdomadaire avec les joueurs semble permettre de mieux comprendre les raisons qui incitent les équipes de soutien à recueillir ces données subjectives et ainsi gagner leur confiance petit à petit (Castagna, Bizzini, Póvoas, & D’Ottavio, 2017; Gabbett et al., 2018). Par exemple, il pourrait être intéressant d’échanger avec un athlète sur la qualité du sommeil qui se détériore dans les derniers jours. Cela permettrait de comprendre les causes de cette détérioration, de s’assurer que l’athlète a les outils pour retourner à une qualité normale de sommeil et d’ajuster au besoin la planification d’entraînement des jours subséquents.

6.2 Le choix de variables de charge externe au hockey sur glace

Dans l’article présenté dans le chapitre précédent, la variable de charge externe utilisée est le PL, qui est considéré comme une mesure globale du travail effectué, représentant la somme de tous les mouvements dans une séance d’entraînement ou une partie. Il faut savoir que le rapport de données brutes fourni par *Catapult Sports* contient plus d’une centaine de variables, dont seul le PL a été validé (Van Iterson et al., 2016). Certaines variables comme le nombre d’efforts explosifs, le travail total à haute intensité, le nombre de changements de direction ou le nombre de coups de patin semblent être intéressantes et pourraient être pertinentes à suivre, dans la mesure où leur fiabilité et validité sont reconnues. À titre d’exemple, le travail total à haute intensité correspond à la somme des accélérations supérieures à un seuil qui a été établi par la compagnie même. Par contre, sachant que l’étude de Van Iterson et al. (2016) a été effectuée chez des joueurs

de niveau universitaire, il se peut fort bien que les seuils établis ne soient pas adéquats pour des joueurs de niveau professionnel. De plus, dans d'autres sports comme le soccer et le football australien, certaines variables en lien avec la distance (p. ex. distance parcourue à haute vitesse, distance totale parcourue) sont utilisées pour quantifier la charge externe quotidienne (Bowen et al., 2019; Carey et al., 2016). Il pourrait être intéressant de suivre la position des joueurs de hockey sur la glace afin d'obtenir des informations sur la vitesse de pointe, la vitesse d'accélération, la vitesse des changements de direction et les contacts entre les joueurs (O'Hara et al., 2013). Pour ce faire, il faudrait combiner l'utilisation de centrales inertielles à un système de *Local Positioning System* (LPS), qui permet justement de suivre la position du joueur à travers la surface de jeu. Dans un contexte pratique, ce type d'informations pourrait devenir très intéressant à suivre en temps réel, autant en pratique qu'en situation de partie. En effet, l'équipe de soutien pourrait se servir de données de vitesse obtenues de chacun des joueurs en temps réel pour les comparer à leurs valeurs moyennes respectives afin de suivre l'évolution de leur niveau de fatigue au cours d'une partie ou d'une période.

6.3 Le défi dans l'anticipation de blessures

L'anticipation de blessures dans le sport professionnel est un défi en soi pour les scientifiques du sport et les préparateurs physiques, dont le travail est de garder les joueurs sur le terrain. Pour maximiser cette anticipation, on peut vouloir opter pour une approche multivariée qui combine des informations de différentes natures ou provenant de différents outils. Celle-ci représente probablement la meilleure approche possible, mais la prévention de blessures n'est pas nécessairement chose facile. La combinaison de plusieurs sources de données ayant des fréquences de collecte différentes peut aussi introduire du bruit dans les analyses. Le défi est encore plus grand dans un sport comme le hockey où les collisions font partie intégrante du jeu et mènent à des

blessures traumatiques en grande majorité (McKay et al., 2014; Sikka et al., 2016). Les blessures traumatiques sont plus difficiles à prévenir que les blessures chroniques, étant donné que l'athlète n'a pas toujours une prédisposition physique particulière (Carey et al., 2016). Lorsqu'un joueur de hockey reçoit une mise en échec qui engendre une commotion cérébrale, il semble plutôt difficile, à première vue, de faire le lien avec les variations de charge d'entraînement ou de bien-être par exemple. Malgré que les blessures traumatiques ne soient que très peu étudiées dans la littérature scientifique, il est fort possible qu'il y ait un ou plusieurs facteurs qui exposent davantage un joueur à ce type de blessure. À titre d'hypothèse, un joueur avec une fatigue ou un stress aigu important pourrait avoir un niveau d'attention inférieur à son habitude durant une partie, ce qui pourrait placer l'athlète dans une situation dangereuse ou à risque. Les blessures traumatiques devraient être davantage étudiées au cours des prochaines années, pour tenter d'en explorer les causes et ainsi améliorer la prévention.

Dans la majorité des études, les blessures traumatiques sont retirées pour la raison évoquée précédemment, mais dans un sport de collision comme le hockey, il faudrait peut-être les considérer. À quoi bon tenter d'anticiper les blessures chroniques au hockey alors qu'elles ne représentent qu'un faible pourcentage des blessures totales? Les blessures de nature traumatique au hockey professionnel représentent environ 75% de l'ensemble des blessures (Smith et al., 1997), ce qui souligne l'importance d'une amélioration dans l'anticipation et la prévention de celles-ci.

Un autre aspect qui contribue à la complexité dans l'anticipation de blessure est le fait qu'un joueur puisse soutenir une plus grande probabilité de blessure pour plusieurs journées à la

suite d'une variation drastique pour une variable de charge interne ou externe. En effet, dans une étude avec des joueurs professionnels de cricket, les athlètes qui voient leur charge d'entraînement aiguë augmenter (>50 lancers par partie) ont un risque de blessure plus élevé jusqu'à 28 jours post-événement (RR = 2.42, IC 95% = 1.38-4.26) (Orchard et al., 2009). Dans une récente revue systématique, Drew et Finch (2016) mentionnent l'importance d'évaluer le risque de blessure pour les jours et les semaines suivant un pic dans la charge d'entraînement. Ils soulignent que les futures études devraient inclure un décalage potentiel entre le changement (dans la charge externe ou interne, par exemple) et le résultat négatif (blessure ou maladie) (Drew & Finch, 2016). C'est d'ailleurs une des raisons qui nous a poussé à faire une analyse qui visait à observer les variations des plusieurs variables dans une fenêtre aiguë avant la blessure. De cette façon, on peut davantage observer la tendance dans les variations pour les différentes variables à l'approche d'une blessure. Ainsi, il serait plus facile dans un contexte pratique d'évaluer la probabilité de blessure pour chaque athlète selon les variations observées pour les mesures subjectives et objectives.

6.4 Les enjeux dans le choix de la méthode visant à évaluer l'impact des variations sur le risque de blessure

Même si relativement peu d'auteurs se sont penchés sur la question, plusieurs mentionnent l'importance du suivi des variations de la charge d'entraînement dans un objectif de prévention de blessure. Ceux-ci soutiennent que les augmentations et les baisses drastiques de mesures objectives dans un court laps de temps sont à éviter, car elles peuvent potentiellement augmenter le risque de blessure. Pour mesurer l'ampleur des variations dans la charge d'entraînement, le A:C est une méthode fort utilisée par plusieurs scientifiques du sport et préparateurs physiques. Or, comme présenté précédemment, plusieurs contraintes soulèvent des questionnements vis-à-vis son

utilisation. Certains suggèrent même plutôt de seulement analyser les variations des moyennes glissées de fenêtres aiguës, sans nécessairement les normaliser en faisant le rapport avec la charge chronique (Lolli et al., 2018). L'incorporation de la charge chronique comme dénominateur dans un calcul comme le A:C pourrait simplement venir ajouter du bruit et donc brouiller l'intérêt du numérateur qui est plus sensible à l'état de fatigue (Lolli et al., 2018). Il faut comprendre que cette méthode pour interpréter les variations de la charge d'entraînement en est une parmi tant d'autres.

La discrétisation des valeurs A:C, une manipulation souvent utilisée dans les études portant sur le sujet, a également soulevé certains questionnements récemment auprès d'un groupe de chercheurs (Carey et al., 2018). Comme mentionné précédemment, cette stratégie n'est probablement pas la plus adéquate et optimale pour fournir un profil clair et précis sur l'incidence de blessures. Toujours selon Carey et coll. (2018), l'utilisation de valeurs continues est probablement plus appropriée lors d'une analyse longitudinale pour évaluer la relation entre la charge d'entraînement et la probabilité de blessures. En raison de ces critiques et arguments, il faut se questionner sur les résultats de l'étude de Gabbett (2016) qui ont montré, à partir d'une discrétisation des valeurs, qu'un A:C supérieur à 1.5 était considéré comme un potentiel danger pour un athlète. À partir des données de charge externe d'entraînement (PL) utilisées dans l'étude présentée dans ce mémoire, une discrétisation par intervalles de 0.1 des valeurs de A:C a été complétée, selon quatre méthodes différentes de calcul du A:C: moyennes glissées (couplées et non-couplées) et EWMA (couplées et non-couplées). La probabilité de blessure, calculée avec le nombre de blessures par rapport au nombre total d'expositions à un intervalle de ratio, a été calculée de façon à recréer (Figure 8) la courbe en "J" de Gabbett (2016). D'après les observations faites sur les figures, les courbes n'ont pas tout à fait l'allure de celle présentée par Gabbett. De

plus, malgré qu'on pourrait dire qu'une certaine courbe en "U" pourrait se dessiner dans les deux figures du bas, il ne faut pas oublier que la majorité des points se situent dans l'intervalle 0.8 à 1.3. Le nombre de points beaucoup plus faible dans les extrémités vient contribuer à la création d'une courbe qui n'est probablement pas la plus représentative de l'ensemble des points. Cela nous laisse croire que les recommandations qui émanent de l'étude de Gabbett ne sont probablement pas adaptées pour tous les sports. De plus, Bornn, Ward et Norman (2019) ont récemment rapporté que la relation entre le A:C de la charge externe et le risque de blessure peut potentiellement être confondue avec le calendrier des entraînements et des compétitions, ce qui nous laisse croire que l'utilisation de mesures de charge interne est peut-être plus pertinente.

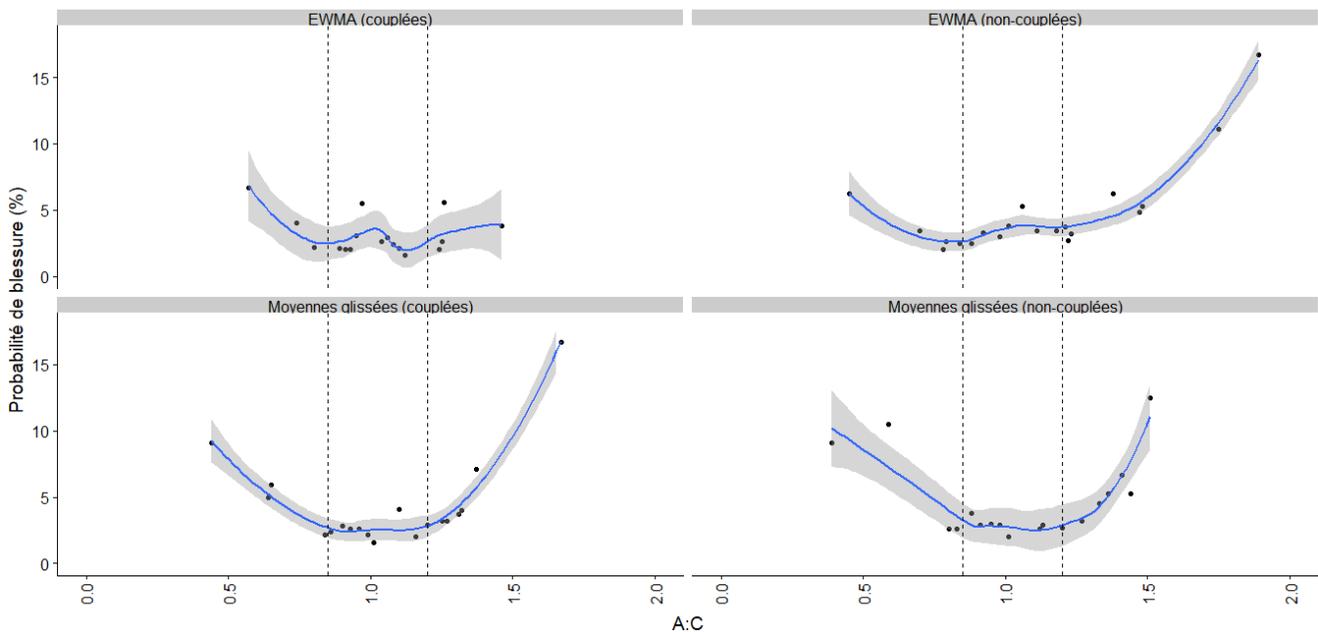


Figure 8. Probabilité de blessure (%) selon le ratio A:C discrétisé en intervalles de 0.1 pour quatre différentes méthodes de calcul du A:C (EWMA couplées = moyennes glissées pondérées exponentielles couplées; EWMA non-couplées = moyennes glissées pondérées exponentielles non-couplées; Moyenne glissées couplées = moyennes glissées couplées; Moyennes glissées non-

couplées = moyennes glissées non-couplées) à partir des données recueillies avec le Rocket de Laval pendant la saison 2017-18.

Pour mesurer le niveau de fatigue d'un athlète, l'ajout de tests permettant d'évaluer la fonction neuromusculaire n'est pas à négliger. En effet, l'évaluation d'un saut vertical sur plateforme de force permet d'évaluer la puissance d'un athlète et ainsi sa fonction neuromusculaire (Al Haddad et al., 2015). Certains auteurs suggèrent que cette dernière est plus sensible aux variations de l'état d'entraînement que la puissance développée (Gathercole, Stellingwerff, et al., 2015; Haff, Whitley, & Potteiger, 2001). La combinaison de plusieurs outils peut permettre de confirmer ou infirmer certaines informations sur le niveau de fatigue d'un athlète. Par exemple, on pourrait observer une diminution importante de la puissance concentrique moyenne lors d'un test de saut, ce qui pourrait fournir un indice pour anticiper un pic de fatigue aiguë. On pourrait comparer cette observation avec des mesures subjectives de fatigue et de repos fournies par l'athlète même ou avec la charge d'entraînement. De cette manière, il serait possible de voir si l'athlète est réellement dans un état de fatigue considérable.

Dans un contexte pratique, la surveillance de ces informations ne peut pas servir directement à prédire les blessures, surtout considérant que cela représente un défi important sachant que les blessures sont multifactorielles. Il faut plutôt se servir des informations collectées pour évaluer le niveau de risque de blessure acceptable et réduire la probabilité de blessure des athlètes (Hulin & Gabbett, 2018).

6.5 L'approche bayésienne pour évaluer la probabilité de blessure

À travers les différentes approches statistiques utilisées dans le sport, la méthode bayésienne semble être une approche adaptée à l'évaluation du risque de blessure. Alors qu'une régression logistique classique permet d'obtenir un seul point pour chaque coefficient, l'approche bayésienne estime une distribution entière de coefficients probables. En effet, elle permet d'obtenir des distributions qui informent sur l'incertitude de l'estimation de blessure. Au plus la distribution est large, au moins nous sommes certains de l'estimation. De plus, dans les modèles statistiques classiques, certaines statistiques comme l'écart-type et la valeur-p (*p-value*) sont habituellement calculés sur des distributions théoriques, comme la distribution normale par exemple. Dans des modèles bayésiens, ces statistiques sont basées sur des distributions estimées à partir des données. La méthode bayésienne est également plus transparente et flexible, car elle permet de définir le modèle et les hypothèses de façon à être plus spécifique au problème considéré. Dans une étude comportant peu de données, comme il est souvent le cas dans les études visant à évaluer l'incidence de blessure à travers un suivi longitudinal, les hypothèses ont plus de poids, alors qu'elles en ont moins lorsque l'échantillon de données augmente.

6.6 Limites de l'étude

Comme dans tous les travaux de recherche, notre étude comprend plusieurs limites, les principales étant liées aux mesures utilisées (questionnaires de suivi) et au traitement de celles-ci. En effet, tel que mentionné précédemment, le ratio A:C demeure une méthode très controversée pour interpréter les changements de paramètres quelconques liés à l'entraînement ou l'état de l'athlète. Cette étude se voulait d'abord une exploration des associations entre différents paramètres mesurés autour de l'équipe ayant participé à l'étude, de sorte à se familiariser avec leur

valeur prédictive dans une perspective de prévention des blessures. D'autres formes d'explorations, de transformations des données et d'approches statistiques devront être effectuées afin d'identifier celles se prêtant le mieux à ce type d'analyse. De plus, les données des questionnaires de bien-être qui ont été utilisées sont issues des questionnaires déjà utilisés par l'équipe, et qui n'ont donc pas été validés au préalable et n'étaient composés que de trois questions (sous la forme d'un seul mot représentant le concept; par exemple : fatigue, « recovery », etc.). Or, il est possible qu'un mot seul puisse porter à une interprétation différente du sens d'un joueur à l'autre, malgré la présentation qui a été faite en début de saison. Prenons l'exemple du terme « recovery », celui-ci pourrait être interprété comme le niveau de repos, la qualité ou la quantité de la récupération, ce qui peut mener à des résultats biaisés. Dans de futures études, il faudrait s'assurer de bâtir des questionnaires de bien-être avec des questions simples, mais davantage élaborées et précises, pour éviter que l'interprétation des sujets puisse constituer une source d'erreur dans les réponses. Ou encore, d'utiliser des questionnaires validés au préalable pour évaluer des construits avec lesquels les athlètes sont familiers.

Bibliographie

- 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.
- Al Haddad, H., Simpson, B. M., & Buchheit, M. (2015). Monitoring changes in jump and sprint performance: best or average values? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(7), 931–934.
- Bahr, R., & Holme, I. (2003). Risk factors for sports injuries—a methodological approach. *British Journal of Sports Medicine*, 37(5), 384–392.
- 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.
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (2000). Statistics notes. The odds ratio. *BMJ*, 320(7247), 1468.
- Bornn, L., Ward, P., & Norman, D. (2019). Training Schedule Confounds the Relationship between Acute: Chronic Workload Ratio and Injury. *Sloansportsconference.com*. Retrieved from <http://www.sloansportsconference.com/wp-content/uploads/2019/02/Training-Schedule-Confounds-the-Relationship-between-Acute-Chronic-Workload-Ratio-and-Injury.pdf>
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gastin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., ... Cable, N. T. (2017). Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), S2161–S2170.

- Bowen, L., Gross, A. S., Gimpel, M., Bruce-Low, S., & Li, F.-X. (2019). Spikes in acute:chronic workload ratio (ACWR) associated with a 5–7 times greater injury rate in English Premier League football players: a comprehensive 3-year study. *British Journal of Sports Medicine*, bjsports – 2018–099422.
- Bowen, L., Gross, A. S., Gimpel, M., & Li, F.-X. (2017). Accumulated workloads and the acute:chronic workload ratio relate to injury risk in elite youth football players. *British Journal of Sports Medicine*, 51(5), 452–459.
- 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.
- 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.
- Brink, M. S., Visscher, C., Arends, S., Zwerver, J., Post, W. J., & Lemmink, K. A. (2010). Monitoring stress and recovery: new insights for the prevention of injuries and illnesses in elite youth soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 44(11), 809–815.
- Brito, J., Hertzog, M., & Nassis, G. P. (2016). Do Match-Related Contextual Variables Influence Training Load in Highly Trained Soccer Players? *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 30(2), 393–399.

- 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.
- Brophy, R. H., Gill, C. S., Lyman, S., Barnes, R. P., Rodeo, S. A., & Warren, R. F. (2009). Effect of anterior cruciate ligament reconstruction and meniscectomy on length of career in National Football League athletes: a case control study. *The American Journal of Sports Medicine*, 37(11), 2102–2107.
- Brophy, R. H., Gill, C. S., Lyman, S., Barnes, R. P., Rodeo, S. A., & Warren, R. F. (2011). Effect of shoulder stabilization on career length in national football league athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(4), 704–709.
- Brown, R. A., Mascia, A., Kinnear, D. G., Lacroix, V., Feldman, L., & Mulder, D. S. (2008). An 18-year review of sports groin injuries in the elite hockey player: clinical presentation, new diagnostic imaging, treatment, and results. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 18(3), 221–226.
- Buchheit, M., & Simpson, B. M. (2016). Player Tracking Technology: Half-Full or Half-Empty Glass? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–23.
- Burgess, D. J. (2017). The Research Doesn't Always Apply: Practical Solutions to Evidence-Based Training-Load Monitoring in Elite Team Sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), S2136–S2141.

- Busfield, B. T., Kharrazi, F. D., Starkey, C., Lombardo, S. J., & Seegmiller, J. (2009). Performance outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction in the National Basketball Association. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery: Official Publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, 25(8), 825–830.
- Carey, D. L., Blanch, P., Ong, K.-L., Crossley, K. M., Crow, J., & Morris, M. E. (2016). Training loads and injury risk in Australian football—differing acute: chronic workload ratios influence match injury risk. *British Journal of Sports Medicine*, (51), 1215–1220.
- Carey, D. L., Crossley, K. M., Whiteley, R., Mosler, A., Ong, K.-L., Crow, J., & Morris, M. E. (2018). Modelling Training Loads and Injuries: The Dangers of Discretization. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001685>
- Carey, J. L., Huffman, G. R., Parekh, S. G., & Sennett, B. J. (2006). Outcomes of Anterior Cruciate Ligament Injuries to Running Backs and Wide Receivers in the National Football League. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(12), 1911–1917.
- Castagna, C., Bizzini, M., Póvoas, S. C. A., & D'Ottavio, S. (2017). Timing Effect on Training-Session Rating of Perceived Exertion in Top-Class Soccer Referees. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(9), 1157–1162.
- 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.
- Coutts, A., Wallace, L., & Slattery, K. (2009). Monitoring training load. *Sports Coach*, 27(1), 1–6.
- Davis, H., Orzeck, T., & Keelan, P. (2007). Psychometric item evaluations of the Recovery-Stress Questionnaire for athletes. *Psychology of Sport and Exercise*, 8(6), 917–938.

- Delecroix, B., McCall, A., Dawson, B., Berthoin, S., & Dupont, G. (2018). Workload and non-contact injury incidence in elite football players competing in European leagues. *European Journal of Sport Science: EJSS: Official Journal of the European College of Sport Science*, 18(9), 1280–1287.
- Delecroix, B., Mccall, A., Dawson, B., Berthoin, S., & Dupont, G. (2018). Workload monotony, strain and non-contact injury incidence in professional football players. *Science and Medicine in Football*, 1–4.
- 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.
- Drew, M. K., Blanch, P., Purdam, C., & Gabbett, T. J. (2016). Yes, rolling averages are a good way to assess training load for injury prevention. Is there a better way? Probably, but we have not seen the evidence. *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096609>
- Drew, M. K., & Finch, C. F. (2016). The Relationship Between Training Load and Injury, Illness and Soreness: A Systematic and Literature Review. *Sports Medicine* , 46(6), 861–883.
- Dupont, G., Nedelec, M., McCall, A., McCormack, D., Berthoin, S., & Wisløff, U. (2010). Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance and injury rate. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(9), 1752–1758.
- 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.

- Fanchini, M., Rampinini, E., Riggio, M., Coutts, A. J., Pecci, C., & McCall, A. (2018). Despite association, the acute:chronic work load ratio does not predict non-contact injury in elite footballers. *Science and Medicine in Football*, 2(2), 108–114.
- Finch, C. F., & Cook, J. (2014). Categorising sports injuries in epidemiological studies: the subsequent injury categorisation (SIC) model to address multiple, recurrent and exacerbation of injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 48(17), 1276–1280.
- 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., Daines, E., Hector, L., Snyder, A. C., & Welsh, R. (1996). Athletic performance in relation to training load. *Wisconsin Medical Journal*, 95(6), 370–374.
- Foster, C., & Lehman, M. (2003). Overtraining syndrome. *MEDICINA SPORTIVA*, 6(4), 229–238.
- Foster, C., Rodriguez-Marroyo, J. A., & De Koning, J. J. (2017). Monitoring Training Loads: The Past, the Present, and the Future. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), S22–S28.
- Fuller, C., & Drawer, S. (2004). The application of risk management in sport. *Sports Medicine*, 34(6), 349–356.
- Fuller, C. W., Ekstrand, J., Junge, A., Andersen, T. E., Bahr, R., Dvorak, J., ... Meeuwisse, W. H. (2006). Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 40(3), 193–201.
- Fuller, C. W., Molloy, M. G., Bagate, C., Bahr, R., Brooks, J. H. M., Donson, H., ... Wiley, P. (2007). Consensus statement on injury definitions and data collection procedures for studies of injuries in rugby union. *British Journal of Sports Medicine*, 41(5), 328–331.

- Gabbett, T. J. (2015). Relationship Between Accelerometer Load, Collisions, and Repeated High-Intensity Effort Activity in Rugby League Players. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 29(12), 3424–3431.
- Gabbett, T. J. (2016). The training—injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 273–280.
- Gabbett, T. J., & Gahan, C. W. (2015). Repeated High-Intensity Effort Activity in Relation to Tries Scored and Conceded during Rugby League Match-Play. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(4), 530–534.
- Gabbett, T. J., Hulin, B. T., Blanch, P., & Whiteley, R. (2016). High training workloads alone do not cause sports injuries: how you get there is the real issue. *British Journal of Sports Medicine*, 50(8), 444–445.
- Gabbett, T. J., Kearney, S., Bisson, L. J., Collins, J., Sikka, R., Winder, N., ... Bettle, J. M. (2018). Seven tips for developing and maintaining a high performance sports medicine team. *British Journal of Sports Medicine*, 52(10), 626–627.
- Gabbett, T. J., Nassis, G. P., Oetter, E., Pretorius, J., Johnston, N., Medina, D., ... Ryan, A. (2017). The athlete monitoring cycle: a practical guide to interpreting and applying training monitoring data. *British Journal of Sports Medicine*, 51(20), 1451–1452.
- Gabbett, T. J., & Whiteley, R. (2017). Two Training-Load Paradoxes: Can We Work Harder and Smarter, Can Physical Preparation and Medical Be Teammates? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), S250–S254.

- Gastin, P. B., McLean, O., Spittle, M., & Breed, R. V. P. (2013). Quantification of tackling demands in professional Australian football using integrated wearable athlete tracking technology. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 16(6), 589–593.
- Gathercole, R., Sporer, B., & Stellingwerff, T. (2015). Countermovement Jump Performance with Increased Training Loads in Elite Female Rugby Athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 36(9), 722–728.
- Gathercole, R., Sporer, B., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. (2015). Alternative countermovement-jump analysis to quantify acute neuromuscular fatigue. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1), 84–92.
- Gathercole, R., Stellingwerff, T., & Sporer, B. (2015). Effect of acute fatigue and training adaptation on countermovement jump performance in elite snowboard cross athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 29(1), 37–46.
- 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.
- Haff, G. G., Carlock, J. M., Hartman, M. J., Kilgore, J. L., Kawamori, N., Jackson, J. R., ... Stone, M. H. (2005). Force-time curve characteristics of dynamic and isometric muscle actions of elite women olympic weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 19(4), 741–748.

- Haff, G. G., Stone, M., O'Bryant, H. S., Harman, E., Dinan, C., Johnson, R., & Han, K.-H. (1997). Force-Time Dependent Characteristics of Dynamic and Isometric Muscle Actions. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 11(4), 269.
- Haff, G. G., Whitley, A., & Pottleiger, J. A. (2001). A brief review: Explosive exercises and sports performance. *Strength & Conditioning Journal*, 23(3), 13.
- Harris, J. D., Frank, J. M., Jordan, M. A., Bush-Joseph, C. A., Romeo, A. A., Gupta, A. K., ... Bach, B. R., Jr. (2013). Return to sport following shoulder surgery in the elite pitcher: a systematic review. *Sports Health*, 5(4), 367–376.
- Hickey, J., Shield, A. J., Williams, M. D., & Opar, D. A. (2014). The financial cost of hamstring strain injuries in the Australian Football League. *British Journal of Sports Medicine*, 48(8), 729–730.
- Hodgson, L., Gissane, C., Gabbett, T. J., & King, D. A. (2007). For Debate: Consensus Injury Definitions in Team Sports Should Focus on Encompassing all Injuries. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 17(3), 188–191.
- Hooper, S. L., & Mackinnon, L. T. (1995). Monitoring Overtraining in Athletes. *Sports Medicine*, 20(5), 321–327.
- Horowitz, M. (2014). *Monitoring training loads in ice hockey*. HAAGA-HELIA.
- Hrysomallis, C. (2013). Injury incidence, risk factors and prevention in Australian rules football. *Sports Medicine*, 43(5), 339–354.

- Hulin, B. T., & Gabbett, T. J. (2018). Indeed association does not equal prediction: the never-ending search for the perfect acute:chronic workload ratio. *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099448>
- Hulin, B. T., Gabbett, T. J., Blanch, P., Chapman, P., Bailey, D., & Orchard, J. W. (2014). Spikes in acute workload are associated with increased injury risk in elite cricket fast bowlers. *British Journal of Sports Medicine*, *48*(8), 708–712.
- Hulin, B. T., Gabbett, T. J., Lawson, D. W., Caputi, P., & Sampson, J. A. (2016). The acute:chronic workload ratio predicts injury: high chronic workload may decrease injury risk in elite rugby league players. *British Journal of Sports Medicine*, *50*(4), 231–236.
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019). Internal and External Training Load: 15 Years On. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–4.
- Irshad, K., Feldman, L. S., Lavoie, C., Lacroix, V. J., Mulder, D. S., & Brown, R. A. (2001). Operative management of “hockey groin syndrome”: 12 years of experience in National Hockey League players. *Surgery*, *130*(4), 759–766.
- Jakoi, A., O’Neill, C., Damsgaard, C., Fehring, K., & Tom, J. (2013). Sports hernia in National Hockey League players: does surgery affect performance? *The American Journal of Sports Medicine*, *41*(1), 107–110.
- Jaspers, A., Brink, M. S., Probst, S. G. M., Frencken, W. G. P., & Helsen, W. F. (2016). Relationships Between Training Load Indicators and Training Outcomes in Professional Soccer. *Sports Medicine*, *47*(3), 533–544.
- 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.

- Juhari, F., Ritchie, D. M., O'Connor, F., Pitchford, N., Weston, M., Thornton, H. R., & Bartlett, J. D. B. (2017). The Quantification of Within Week Session Intensity, Duration and Intensity Distribution Across a Season in Australian Football Using the Session RPE Method. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–21.
- Junge, A., & Dvorak, J. (2000). Influence of definition and data collection on the incidence of injuries in football. *The American Journal of Sports Medicine*, 28(5 Suppl), S40–S46.
- Junge, A., Engebretsen, L., Alonso, J. M., Renström, P., Mountjoy, M. L., Aubry, M., & Dvorak, J. (2008). Injury surveillance in multi-sport events - the IOC approach. *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.046631>
- Kellmann, M. (2010). Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20, 95–102.
- Kellmann, M., Altenburg, D., Lormes, W., & Steinacker, J. M. (2001). Assessing Stress and Recovery during Preparation for the World Championships in Rowing. *Sport Psychologist*, 15(2), 151–167.
- Kellmann, M., & Kallus, K. W. (2001). *Recovery-stress Questionnaire for Athletes: User Manual*. Human Kinetics.
- Lazarus, B. H., Stewart, A. M., White, K. M., Rowell, A. E., Esmaeili, A., Hopkins, W. G., & Aughey, R. J. (2017). Proposal of a Global Training Load Measure Predicting Match Performance in an Elite Team Sport. *Frontiers in Physiology*, 8, 930.
- Lehmann, M., Foster, C., & Keul, J. (1993). Overtraining in endurance athletes: a brief review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(7), 854–862.

- Lemon, S. C., Wang, M. L., Haughton, C. F., Estabrook, D. P., Frisard, C. F., & Pagoto, S. L. (2016). Methodological quality of behavioural weight loss studies: a systematic review. *Obesity Reviews: An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity*, *17*(7), 636–644.
- Leunes, A., & Burger, J. (2000). Profile of Mood States Research in Sport and Exercise Psychology: Past, Present, and Future. *Journal of Applied Sport Psychology*, *12*(1), 5–15.
- Levy, R. (2011). Bayesian Data-Model Fit Assessment for Structural Equation Modeling. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, *18*(4), 663–685.
- Lolli, L., Batterham, A. M., Hawkins, R., Kelly, D. M., Strudwick, A. J., Thorpe, R., ... Atkinson, G. (2017). Mathematical coupling causes spurious correlation within the conventional acute-to-chronic workload ratio calculations. *British Journal of Sports Medicine*.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098110>
- Lolli, L., Batterham, A. M., Hawkins, R., Kelly, D. M., Strudwick, A. J., Thorpe, R. T., ... Atkinson, G. (2018). The acute-to-chronic workload ratio: an inaccurate scaling index for an unnecessary normalisation process? *British Journal of Sports Medicine*.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098884>
- Los Arcos, A., Martínez-Santos, R., Yanci, J., Mendiguchia, J., & Méndez-Villanueva, A. (2015). Negative Associations between Perceived Training Load, Volume and Changes in Physical Fitness in Professional Soccer Players. *Journal of Sports Science & Medicine*, *14*(2), 394–401.
- Los Arcos, A., Yanci, J., & Mendiguchia, J. (2014). Rating of muscular and respiratory perceived exertion in professional soccer players. *J Strength Cond Res*, *28*(11), 3280–3288.

- 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.
- Macdonald, B., & Pulleyblank, W. (2014). Realignment in the NHL, MLB, NFL, and NBA. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, *0*(0). <https://doi.org/10.1515/jqas-2013-0070>
- Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016). Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*, *116*(6), 1091–1116.
- Mallo, J., & Dellal, A. (2012). Injury risk in professional football players with special reference to the playing position and training periodization. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *52*(6), 631–638.
- McCall, A., Dupont, G., & Ekstrand, J. (2018). Internal workload and non-contact injury: a one-season study of five teams from the UEFA Elite Club Injury Study. *British Journal of Sports Medicine*, *52*(23), 1517–1522.
- McKay, C. D., Tufts, R. J., Shaffer, B., & Meeuwisse, W. H. (2014). The epidemiology of professional ice hockey injuries: a prospective report of six NHL seasons. *British Journal of Sports Medicine*, *48*(1), 57–62.
- McNair, D. M., Lorr, M., & Droppleman, L. F. (1971). Manual for the profile of mood states (POMS). *San Diego: Educational and Industrial Testing Service.*

- Meeuwisse, W. H., & Love, E. J. (1997). Athletic Injury Reporting. *Sports Medicine*, 24(3), 184–204.
- Menaspà, P. (2017). Are rolling averages a good way to assess training load for injury prevention? *British Journal of Sports Medicine*, 51(7), 618–619.
- Menge, T. J., Briggs, K. K., & Philippon, M. J. (2016). Predictors of Length of Career After Hip Arthroscopy for Femoroacetabular Impingement in Professional Hockey Players. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(9), 2286–2291.
- Murray, N. B., Gabbett, T. J., Townshend, A. D., & Blanch, P. (2016). Calculating acute:chronic workload ratios using exponentially weighted moving averages provides a more sensitive indicator of injury likelihood than rolling averages. *British Journal of Sports Medicine*, 51(9), 749–754.
- Muthén, B., & Asparouhov, T. (2012). Bayesian structural equation modeling: a more flexible representation of substantive theory. *Psychological Methods*, 17(3), 313–335.
- Nassis, G. P., & Gabbett, T. J. (2017). Is workload associated with injuries and performance in elite football? A call for action. *British Journal of Sports Medicine*, 51(6), 486–487.
- Noonan, B. C. (2010). Intragame blood-lactate values during ice hockey and their relationships to commonly used hockey testing protocols. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 24(9), 2290–2295.
- 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.
- Olson, D., Sikka, R. S., Labounty, A., & Christensen, T. (2013). Injuries in professional football: current concepts. *Current Sports Medicine Reports*, 12(6), 381–390.

- Orchard, J. W., James, T., Portus, M., Kountouris, A., & Dennis, R. (2009). Fast bowlers in cricket demonstrate up to 3- to 4-week delay between high workloads and increased risk of injury. *The American Journal of Sports Medicine*, 37(6), 1186–1192.
- Pérez, L. T., Orchard, J., & Rae, K. (2008). The Orchard Sports Injury Classification System (OSICS) version 10. *Apunts: Medicina de L'esport*. Retrieved from <http://www.raco.cat/index.php/Apunts/article/download/119817/299258>
- Perrin, L., & Rossi, S. (2019). *Seasonal Changes in Sleep, RPE, and Scoring Percentage in Division One Collegiate Female Basketball Players*. Georgia Southern University. Retrieved from <https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/honors-theses/387/>
- Reynolds, S. B., Dugas, J. R., Cain, E. L., McMichael, C. S., & Andrews, J. R. (2008). Débridement of small partial-thickness rotator cuff tears in elite overhead throwers. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 466(3), 614–621.
- 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.
- Rogalski, B., Dawson, B., Heasman, J., & Gabbett, T. J. (2013). Training and game loads and injury risk in elite Australian footballers. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 16(6), 499–503.
- Sampson, J. A., Fullagar, H. H. K., & Murray, A. (2016). Evidence is needed to determine if there is a better way to determine the acute:chronic workload. *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097085>

- 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.
- Saw, A. E., Main, L. C., & Gatin, P. B. (2016). Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine, 50*(5), 281–291.
- Schilaty, N. D., Nagelli, C., & Hewett, T. E. (2016). Use of Objective Neurocognitive Measures to Assess the Psychological States that Influence Return to Sport Following Injury. *Sports Medicine, 46*(3), 299–303.
- Schwellnus, M., Soligard, T., Alonso, J.-M., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, H. P., ... Engebretsen, L. (2016). How much is too much? (Part 2) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of illness. *British Journal of Sports Medicine, 50*(17), 1043–1052.
- Shacham, S. (1983). A shortened version of the Profile of Mood States. *Journal of Personality Assessment, 47*(3), 305–306.
- Shah, V. M., Andrews, J. R., Fleisig, G. S., McMichael, C. S., & Lemak, L. J. (2010). Return to play after anterior cruciate ligament reconstruction in National Football League athletes. *The American Journal of Sports Medicine, 38*(11), 2233–2239.
- Sikka, R., Kurtenbach, C., Steubs, J. T., Boyd, J. L., & Nelson, B. J. (2016). Anterior Cruciate Ligament Injuries in Professional Hockey Players. *The American Journal of Sports Medicine, 44*(2), 378–383.

- Silva, J. R., Rebelo, A., Marques, F., Pereira, L., Seabra, A., Ascensão, A., & Magalhães, J. (2014). Biochemical impact of soccer: an analysis of hormonal, muscle damage, and redox markers during the season. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition et Metabolisme*, 39(4), 432–438.
- Smith, A. M., Stuart, M. J., Wiese-Bjornstal, D. M., & Gunnon, C. (1997). Predictors of injury in ice hockey players. A multivariate, multidisciplinary approach. *The American Journal of Sports Medicine*, 25(4), 500–507.
- Soligard, T., Schwelnus, M., Alonso, J.-M., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, H. P., ... Engebretsen, L. (2016). How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *British Journal of Sports Medicine*, 50(17), 1030–1041.
- Stares, J., Dawson, B., Peeling, P., Heasman, J., Rogalski, B., Drew, M., ... Lester, L. (2017). Identifying high risk loading conditions for in-season injury in elite Australian football players. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.05.012>
- Svendsen, I. S., Taylor, I. M., Tønnessen, E., Bahr, R., & Gleeson, M. (2016). Training-related and competition-related risk factors for respiratory tract and gastrointestinal infections in elite cross-country skiers. *British Journal of Sports Medicine*, 50(13), 809–815.
- Van Iterson, E. H., Fitzgerald, J. S., Dietz, C. C., Snyder, E. M., & Peterson, B. J. (2016). Reliability of Triaxial Accelerometry for Measuring Load in Men's Collegiate Ice-Hockey. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 1.

- Vanrenterghem, J., Nedergaard, N. J., Robinson, M. A., & Drust, B. (2017). Training Load Monitoring in Team Sports: A Novel Framework Separating Physiological and Biomechanical Load-Adaptation Pathways. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0714-2>
- Warren, A., Williams, S., McCaig, S., & Trewartha, G. (2018). High acute:chronic workloads are associated with injury in England & Wales Cricket Board Development Programme fast bowlers. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, *21*(1), 40–45.
- 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.
- Williams, S., Trewartha, G., Cross, M. J., Kemp, S. P. T., & Stokes, K. A. (2017). Monitoring What Matters: A Systematic Process for Selecting Training-Load Measures. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(Suppl 2), S2101–S2106.
- Williams, S., West, S., Cross, M. J., & Stokes, K. A. (2017). Better way to determine the acute:chronic workload ratio? *British Journal of Sports Medicine*, *51*(3), 209–210.
- Windt, J., Arden, C. L., Gabbett, T. J., Khan, K. M., Cook, C. E., Sporer, B. C., & Zumbo, B. D. (2018). Getting the most out of intensive longitudinal data: a methodological review of workload–injury studies. *BMJ Open*, *8*(10), e022626.
- Windt, J., & Gabbett, T. J. (2018). Is it all for naught? What does mathematical coupling mean for acute:chronic workload ratios? *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098925>

Windt, J., Gabbett, T. J., Ferris, D., & Khan, K. M. (2017). Training load--injury paradox: is greater preseason participation associated with lower in-season injury risk in elite rugby league players? *British Journal of Sports Medicine*, *51*(8), 645–650.