

Université de Montréal

**Impacts à la tête au hockey sur glace :
Effets du jeu sécuritaire, de l'agressivité et de l'historique de
commotions cérébrales chez les adolescents québécois**

par Martin Chevrier

Département de Médecine sociale et préventive
École de santé publique de l'Université de Montréal

Mémoire présenté
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise
en Santé publique
option générale avec mémoire

30 Avril 2018

© Martin Chevrier, 2018
Université de Montréal

Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé : Impacts à la tête au hockey sur glace :
Effets du jeu sécuritaire, de l'agressivité et de l'historique de commotions cérébrales chez les
adolescents québécois

présenté par Martin Chevrier
évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Yan Kestens
Directeur de recherche

Alain Steve Comtois
Co-directeur de recherche

Gregory Moullec
Président rapporteur

Louis De Beaumont
Examineur externe

Résumé

L'utilisation de casques instrumentés pour la mesure des forces d'impact à la tête au hockey est une méthode novatrice permettant d'obtenir plusieurs informations essentielles par rapport au mécanisme des commotions cérébrales. L'objectif principal de cette étude était de déterminer dans quelle mesure les impacts à la tête des joueurs de hockey sont associés à la connaissance du jeu sécuritaire, l'agressivité et l'historique de commotions cérébrales. La fréquence et la force des impacts ont été enregistrées à l'aide d'un capteur accélérométrique dans chaque casque chez 23 joueurs de hockey scolaire québécois pendant 26 matchs de saison régulière. Le « Safe-Play Questionnaire » et le « Competitive Aggressiveness and Anger Scale » ont été utilisés afin de mesurer la connaissance du jeu sécuritaire et l'agressivité. Nos résultats démontrent que les joueurs ayant un historique de commotion cérébrale plus important recevaient des impacts avec des forces rotationnelles maximales plus grandes que les joueurs avec un historique moins important ($\beta=0,329$, $p= 0,038$). Une tendance a été observée entre la connaissance du jeu sécuritaire et le « Head Injury Criterion », telle que les joueurs avec des connaissances du jeu sécuritaire plus élevées avaient tendance à subir des impacts avec un HIC plus bas. Le niveau d'agressivité des joueurs n'était pas associé à la fréquence ou à la force des impacts. Ces résultats devraient guider le raffinement des protocoles d'éducation et de sensibilisation pour la prévention des commotions cérébrales au hockey sur glace.

Mots-clés : impact à la tête, accéléromètre, hockey, commotion cérébrale

Abstract

The use of instrumented hockey helmets to measure head impacts provides valuable information on concussion mechanisms. This study sought to evaluate the potential associations between head impacts and player safe-play knowledge, aggression and concussion history. During this pilot study, 23 Québec school hockey players were followed for 26 games during which accelerometer mounted helmets were used to measure head impact frequency and force. The Safe-Play Questionnaire and the Competitive Aggressiveness and Anger Scale were used to measure levels of safe-play and aggression. Our results showed that players with a greater concussion history suffered impacts with greater rotational velocity peaks ($\beta=0,329$, $p= 0,038$). Furthermore, players higher safe-play knowledge showed a trend towards head impacts with lower Head Injury Criterion (HIC). Player aggression was not found to be linked to frequency or force of head impacts. Further studies and interventions should keep focusing on education and sensitization in order to reduce concussion incidence in ice hockey.

Keywords: head impact, accelerometer, hockey, concussion

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	ii
Table des matières.....	iii
Liste des tableaux.....	vi
Liste des figures	vii
Liste des sigles	viii
Liste des abréviations.....	ix
Remerciements.....	xi
Introduction.....	1
Définition du problème.....	1
Épidémiologie des commotions cérébrales.....	2
Conséquences à court et long terme.....	4
Prévention des commotions cérébrales au hockey.....	6
La mesure des forces d'impact	7
Recension des écrits.....	9
Stratégie de recherche	9
État des connaissances	10
La mesure des forces d'impact	10
Facteurs prédictifs des impacts à la tête.....	14
Évaluation critique de la littérature.....	17
Forces des études	17
Faiblesses des études.....	17
Lacunes dans les connaissances.....	19
Constats, objectifs de recherche et hypothèses	20
Méthodes.....	21
Description de l'étude.....	21

Devis de recherche	21
Population d'étude	22
Outils de mesure	23
Impacts à la tête	23
Connaissances du jeu sécuritaire (CJS)	24
Agressivité	24
Historique de commotions cérébrales	25
Variables	26
Variables dépendantes	26
Variables indépendantes	26
Recrutement	27
Collecte de données	27
Considérations éthiques	28
Manipulation des données.....	29
Analyse statistique	30
Résultats.....	32
Description de l'échantillon.....	32
Description des impacts	32
Connaissances du jeu sécuritaire	35
Agressivité	36
Historique de commotions	36
Discussion.....	38
Interprétation des résultats	39
Impacts	39
Connaissances du jeu sécuritaire	39
Agressivité	41
Historique de commotions cérébrales	43
Limites de l'étude	44
Retombées.....	46
Pistes de recherche futures.....	46

Conclusion	47
Bibliographie.....	48
Annexe 1 – Stratégie de recherche.....	54
Concepts.....	54
Équations de recherche et résultats par base de données	54
Annexe 2– Tableau sommaire des études antérieures	56
Annexe 3 – Calcul de taille d’échantillon.....	59
Annexe 4 – Spécifications du GForceTracker	60
Annexe 5- Questionnaire du jeu sécuritaire.....	61
Version traduite.....	62
Annexe 6– Questionnaire d’agressivité	64
Version traduite.....	65
Annexe 7– Questionnaire d’information du participant	66
Annexe 8– Image GForceTracker.....	67
Annexe 9– Documents comité d’éthique.....	68

Liste des tableaux

Tableau I. Statistiques descriptives des joueurs de l'échantillon.....	33
Tableau II. Associations entre fréquence, intensité des impacts et agressivité, connaissances du jeu sécuritaire et historique de commotions cérébrales.....	36
Tableau III. Associations entre les forces d'impact maximales par match et jeu sécuritaire, agressivité et historique de commotions.	37

Liste des figures

Figure 1.	Mécanisme de la commotion cérébrale	8
Figure 2.	Exemple de distribution des impacts: Force linéaire.....	14
Figure 3.	Distribution des forces d'impact: Accélération linéaire	34
Figure 4.	Distribution des forces d'impact: Vitesse rotationnelle.....	34
Figure 5.	Distribution des forces d'impact : HIC	35

Liste des sigles

CISG : Concussions in Sports Group

CHUM : Centre hospitalier de l'Université de Montréal

CRCHUM : Centre de recherche du Centre hospitalier de l'Université de Montréal

Liste des abréviations

CCOS : Commotion cérébrale d'origine sportive

CJS : Connaissance du jeu sécuritaire

SPQ: Safe-Play Questionnaire

CAAS: Competitive Aggressiveness and Anger Scale

HIC: Head Injury Criterion

*Je dévoue ce mémoire aux athlètes et à leurs familles qui ont pu connaître les effets perniciose
des commotions cérébrales à court- et à long terme.*

Remerciements

J'aimerais sincèrement remercier les joueurs, les entraîneurs et les dirigeants de l'école pour leur volonté de participer à l'étude. Ce fut un plaisir de vous rencontrer et collaborer avec vous. Un merci spécial à Yan Kestens et Alain Steve Comtois de m'avoir encadré tout au long de mon parcours. Je suis infiniment reconnaissant des opportunités, des ressources et du support que vous m'avez accordé qui m'ont permis de travailler sur un sujet qui me passionne tant. Merci également aux membres du SPHERE Lab pour leur aide et leur encouragement. Je souhaite finalement souligner et remercier ma famille et mes amis pour leur soutien inconditionnel.

Introduction

Les commotions cérébrales présentent une problématique de santé publique majeure en pleine émergence. Au cours des dernières années, une attention particulière a été dirigée aux commotions cérébrales, surtout dans le monde du sport. Le grand manque d'information au sujet de ce problème de santé si imprévisible pique la curiosité à l'échelle internationale et fait l'objet de plusieurs rapports scientifiques et médiatiques. Ce mémoire portera sur la mesure des impacts à la tête au hockey sur glace, mais il est nécessaire de premièrement donner un aperçu global de la problématique de santé liée aux impacts à la tête, soit la commotion cérébrale. Cette introduction discutera alors de la définition, de l'épidémiologie et des répercussions des commotions cérébrales d'origine sportive.

Définition du problème

La commotion cérébrale d'origine sportive (CCOS) est un problème de santé complexe et multifactoriel qui est encore largement peu compris. Il existe plusieurs définitions, ce qui mène souvent à une certaine confusion à la fois dans le monde scientifique et sportif. Le CISG (Concussion in Sports Group) définit la CCOS de la façon suivante :

La CCOS est un traumatisme crânien induit par des forces biomécaniques. Le CISG identifie aussi plusieurs éléments récurrents dans les différentes définitions cliniques de la blessure.

(McCrory et al., 2017) :

La CCOS peut être causée par un coup direct à la tête, la figure, le cou, ou ailleurs au corps suscitant la transmission d'une certaine force à la tête.

La CCOS cause, la plupart du temps, des signes et symptômes neurologiques qui se manifestent rapidement, mais qui disparaissent spontanément. Cependant, il est aussi possible que les signes et symptômes évoluent pendant plusieurs minutes ou heures.

La CCOS peut causer des changements neuropathologiques, cependant les signes cliniques aigus se manifestent le plus souvent sous la forme d'une perturbation fonctionnelle et non par des blessures structurelles au cerveau. Comme résultat, aucune anomalie ne peut être identifiée par des procédures d'imagerie médicale conventionnelle.

La CCOS provoque un éventail de signes et symptômes cliniques qui peuvent inclure ou non la perte de conscience. L'achèvement des troubles cliniques et cognitifs suit habituellement une trajectoire séquentielle, mais dans certains cas les symptômes peuvent être prolongés.

Épidémiologie des commotions cérébrales

En 2011, 2766 Canadiens ont été hospitalisés pour des commotions cérébrales. Par contre, la vaste majorité des commotions cérébrales ne nécessitent pas à un séjour à l'hôpital. Il est alors difficile de déterminer le nombre total de personnes affectées par ce traumatisme. Nous savons aussi que 81% des cas de commotion cérébrale hospitalisés résultent de chutes et d'accidents liés au transport (Morrish et Carey, 2013). Nous savons aussi que les jeunes ayant reçu de l'aide médicale pour une blessure à la tête ont un plus grand risque de subir une blessure subséquente à la tête jusqu'à 6 mois après (Swaine et al., 2007). On dit en fait que la différence principale qui distingue une commotion cérébrale suite à un accident de la route

d'une CCOS est que cette dernière est associée à un plus grand risque d'en subir une autre, souvent dans une courte période de temps suivant l'événement (Durand et al., 2015). Ce phénomène est le résultat de la nature du sport qui a occasionné la commotion cérébrale. C'est-à-dire que la pratique d'un sport contact augmente les chances de subir des coups à la tête et ainsi une commotion cérébrale subséquente. Il n'est pas évident d'obtenir des données valides pour les CCOS, car elles sont souvent sous-déclarées par les athlètes. Il y a été révélé que le nombre réel de CCOS est environ 30 fois plus élevé que celui signalé par les équipes (Williamson et Goodman, 2016). Selon une méta-analyse en 2016, les trois sports avec la plus grande incidence de CCOS chez les jeunes sont le rugby, le hockey et le football américain avec 4,18, 1,20 et 0,53 commotions par 1000 expositions-athlète, respectivement, où 1 exposition-athlète est définie comme 1 match joué par 1 joueur (Pfister et al.). Chez les athlètes collégiens américains, on observe que la lutte est le sport avec la plus grande incidence de CCOS, suivi du hockey et du football (Zuckerman et al., 2015).

En ce qui concerne le hockey sur glace, Echlin a pu observer une commotion cérébrale chez 25% des joueurs de hockey junior canadien durant une seule saison. De plus, environ 1/3 de ces joueurs ont subi une deuxième commotion cérébrale durant la même saison (2012). Dans une autre étude incluant 71 équipes de hockey canadiennes, on met en évidence un taux de CCOS significativement plus élevé chez les joueurs jouant à un niveau où les mises en échec sont permises comparativement aux niveaux sans mises en échec. En fait, le risque relatif de subir une CCOS pour un joueur de niveau Bantam (13-14 ans) comparativement à un joueur Atome (9-10 ans) était de 4,04 (Emery et Meeuwisse, 2006). Par ailleurs, Agel et Harvey observent une disparité entre les taux de CCOS chez les hommes et les femmes au hockey collégien américain (2010). Dans cette étude rétrospective de 7 ans, l'incidence chez

les femmes était de 0,82 commotions par 1000 expositions-athlète et 0,72 commotions par 1000 expositions-athlète chez les hommes, ce qui est intéressant lorsqu'on considère que le hockey féminin se joue sans mises en échec. Une autre étude indique qu'au hockey canadien, les CCOS représentent un plus grand pourcentage de l'ensemble des blessures sportives qu'aux États-Unis et qu'en Europe. Les auteurs postulent que le style plus agressif de hockey combiné avec une patinoire plus petite en Amérique du Nord pourrait contribuer à une incidence plus élevée de commotions (Ruhe, Gansslen, Klein, 2013).

Au hockey sur glace, plusieurs mécanismes peuvent être incriminés dans la survenue d'une commotion cérébrale. Il a d'ailleurs été rapporté que les causes les plus fréquentes de commotions cérébrales au hockey sont le contact avec un autre joueur, avec la bande ou avec la glace. La mise en échec est un élément du jeu au hockey qui permet de séparer le joueur de la rondelle avec un contact physique. Emery a cependant trouvé que la mise en échec au hockey augmente le risque de blessure de 3 fois (2010).

Conséquences à court et long terme

Les effets d'une commotion cérébrale sont vastes et le tableau clinique est variable selon le cas. À court terme, le patient peut ressentir des symptômes à la fois physiques, émotionnels et cognitifs. Selon une étude auprès d'athlètes collégiens américains, les maux de tête et les étourdissements sont les symptômes les plus fréquents. Ils ont aussi trouvé que les hommes souffrent plus souvent d'amnésie et de désorientation, tandis que les femmes ont plus souvent des nausées suite à une commotion cérébrale. Il est aussi important de noter que pour la plupart des commotions cérébrales (60%), les symptômes disparaissaient après 1 semaine et

que pour environ 6% des commotions cérébrales, les symptômes duraient plus que 4 semaines (Wasserman et al., 2015).

Les commotions cérébrales peuvent aussi avoir des effets néfastes à long terme. En effet, le syndrome post-commotionnel est un trouble associé aux commotions cérébrales qui se démarque par une persistance des symptômes à long terme (Morgan et al., 2015). Chez les individus souffrant du syndrome post-commotionnel, on retrouve souvent les symptômes habituels d'une commotion ainsi qu'une intolérance à l'activité physique, un dysfonctionnement neurocognitif, des réflexes altérés et une détérioration de la mémoire de travail. Le syndrome post-commotionnel se développe chez environ 1,5% à 15% des individus ayant une CCOS (Morgan, 2015). Morgan et ses collaborateurs ont aussi trouvé que l'historique de commotions cérébrales, les troubles d'humeur et d'autres troubles psychiatriques sont des facteurs qui pourraient contribuer au développement du syndrome post-commotionnel.

Un fardeau sociétal important est associé aux traumatismes crâniens. En fait, on estime que les coûts annuels directs de santé engendrés par les traumatismes crâniens en Ontario étaient en moyenne de 120 millions \$ entre 2004-2007. Il est aussi inquiétant que ce soit chez les jeunes qu'on retrouve la plus grande incidence de commotions cérébrales et que ces derniers soient plus vulnérables aux symptômes et qu'ils souffrent souvent d'une plus longue période de récupération (Baillargeon et al., 2012). Sans aucun doute, des démarches immédiates doivent être prises afin de réduire l'incidence des commotions cérébrales de façon à protéger la santé des jeunes athlètes.

Prévention des commotions cérébrales au hockey

En Amérique du Nord, les organismes de hockey se préoccupent davantage des aspects du retour sécuritaire au jeu suite à une commotion plutôt que des stratégies qui pourraient les prévenir. En raison de la nature de l'activité, il y a un certain risque associé au fait d'embarquer sur la glace et de jouer au hockey. Plusieurs stratégies de prévention des commotions cérébrales au hockey proposent des changements au jeu comme l'élimination totale des mises en échec. Il faut toutefois veiller à préserver l'authenticité d'une activité pratiquée par des millions de personnes, tout en essayant de la rendre plus sécuritaire.

L'étude d'Emery portant sur l'efficacité des stratégies de prévention de commotions cérébrales indique que la méthode qui s'avère la plus efficace est le changement des politiques et de réglementation, plus spécifiquement l'élimination des mises en échec chez les jeunes (2017). Au Québec, les mises en échec sont permises dès l'âge de 13 ans pour les niveaux de haute compétition. Hockey Québec a instauré une évolution graduelle des mises en échec qui permet aux joueurs d'apprendre à jouer de manière sécuritaire. Quatre niveaux de contact physique ont été identifiés : sans contact physique ni de mise en échec (1), contact physique (2), mise en échec progressive (3) et mise en échec corporelle (4). Le contact physique, permis à partir de 11 ans, implique un « premier mouvement avec son bâton en fonction de la rondelle, avant d'initier un contact physique sans qu'il y ait une projection du porteur vers la bande » (Hockey Québec, 2011). La mise en échec « est une tactique défensive individuelle visant à séparer de manière réglementaire la rondelle du porteur. Cette tactique est le résultat d'un joueur défensif qui utilise une extension physique de son corps envers le porteur de la rondelle, soit en utilisant sa hanche ou le haut de son corps » (Hockey Québec, 2011). La différence entre la mise en échec progressive (permise à partir de 13 ans) et la mise en échec

corporelle (permise à partir de 15 ans) tire des contacts face à face. La mise en échec progressive nécessite que le bâton du défenseur soit dirigé vers l'adversaire durant les mises en échec face à face. Cette gradation des différents types de contact varient aussi en fonction du niveau de jeu, par exemple, un joueur de 15 ans peut jouer au niveau compétitif AA avec des mises en échec corporelles ou au niveau récréatif A où la mise en échec n'est pas permise du tout.

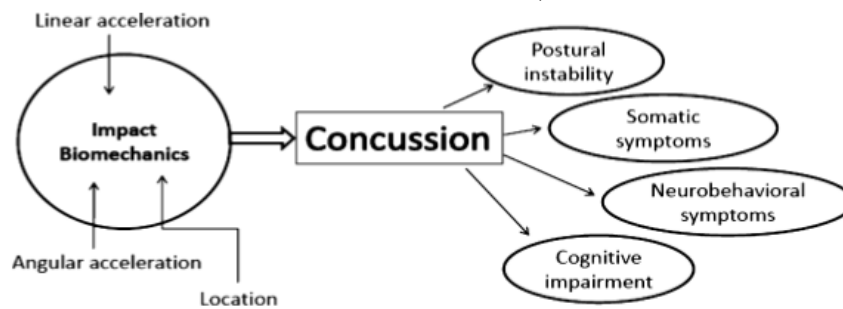
Les stratégies d'éducation et de sensibilisation pourraient aussi s'avérer efficaces pour la prévention de CCOS. Selon Emery, l'utilisation de telles stratégies a peu été étudiée, mais pourrait aider à prévenir les CCOS subséquentes (2017). Le Comité du travail sur la mise en échec de Hockey Québec a développé en 2011 le Programme d'éducation et d'enseignement de la mise en échec. Les objectifs du programme sont entre autres de sensibiliser les joueurs, les entraîneurs et les parents aux éléments de base de la mise en échec, d'exposer les joueurs aux situations de jeux qui pourraient poser un danger et de présenter les fondements éthiques qui favorisent la santé et sécurité des joueurs. Les joueurs suivent une séance théorique de 60 minutes, une session en gymnase avec vidéos et vérification de l'équipement protecteur et deux sessions sur glace d'apprentissage des situations de jeu et d'éléments techniques.

La mesure des forces d'impact

Dans une perspective de prévention, il est primordial d'identifier les situations ou les facteurs qui pourraient être associés à la survenue de commotions cérébrales au hockey. La quantification des forces d'impact à la tête des joueurs de hockey à l'aide d'accéléromètres est une méthode qui a commencé à être utilisée dans la dernière décennie pour étudier les

commotions cérébrales. Comme l'illustre la Figure 1, les forces d'impact représentent le mécanisme principal causant des CCOS. En identifiant des facteurs modifiables qui ont une influence sur les forces d'impact à la tête, on peut agir en amont et essayer de prévenir et de comprendre davantage les CCOS. La recension des écrits qui suit discutera en grande partie des études portant sur la mesure des impacts à la tête au hockey.

Figure 1. Mécanisme de la commotion cérébrale (Guskiewicz et Mihalik, 2011)



Recension des écrits

Stratégie de recherche

Tout d'abord, une stratégie de recherche a été développée à fin d'identifier les articles pertinents à la mesure des forces d'impact au hockey. À l'aide d'un bibliothécaire spécialisé en sciences de la santé, un plan de concept a premièrement été mis en place. Les concepts « force d'impact », « détecteurs dans les casques » et « hockey » ont été utilisés pour identifier les descripteurs et les mots-clés appropriés. L'Annexe 1 fait le bilan des concepts et sous-concepts utilisés dans la stratégie de recherche. Des équations de recherche basées sur les trois concepts ont été créées pour chaque base de données utilisée, soit Pubmed, Embase, Sportdiscus et Web of Science. Ces équations de recherche peuvent aussi être trouvées à l'Annexe 1.

Ensuite, les articles trouvés dans les 4 bases ont été importés dans Zotero pour la sélection des articles pertinents. Après l'élimination des doublons, 82 articles ont été retenus. La sélection finale des articles a été réalisée en lisant les résumés des études pour déterminer leur inclusion. Les études incluses devaient nécessairement comporter un échantillon contenant des joueurs de hockey et devaient discuter des forces d'impact subies par les joueurs. Les échantillons de tous groupes d'âge, de sexe et de niveau de hockey ont été inclus en raison de la quantité déjà faible d'articles. Les articles discutant de la validité des instruments de mesure des forces d'impact ont aussi été retenus. Finalement, les études qui portaient sur l'efficacité de protection des casques, ainsi que les études mesurant l'effet des impacts à la tête sur des indicateurs physiologiques comme la déformation cérébrale ou la diffusion de matière blanche cérébrale ont été exclues. En appliquant ces critères durant la lecture des résumés et textes intégraux, 30 articles ont été retenus et seront analysés.

État des connaissances

La mesure des forces d'impact

Il est bien connu que les commotions cérébrales sont engendrées en grande partie par des forces importantes infligées à la tête et au corps, quelle qu'en soit l'origine (Durand et al., 2015). La mesure de ces forces d'impact est alors critique à l'avancement des connaissances au sujet des mécanismes biomécaniques des commotions cérébrales. Au courant de la dernière décennie, des avancements technologiques innovateurs ont permis la mesure précise des forces d'impact. Dans le monde du sport, il est maintenant possible de capter les forces subies par les joueurs en utilisant des accéléromètres installés directement sur le joueur ou son équipement (casques, bandeaux, patchs sur la peau, protège-dents) (Patton, 2016). D'ailleurs, une des grandes utilités des études qui visent à mesurer les forces d'impact à la tête chez les athlètes est l'utilisation de ces technologies, car elles permettent d'obtenir une mesure objective du risque potentiel de commotion sans que le traumatisme se produise nécessairement.

Au hockey sur glace, la première étude ayant eu comme objectif de mesurer les impacts à la tête de joueurs a été effectuée aux États-Unis en 2008 par Mihalik et ses collègues. Depuis cette étude, une douzaine d'autres ont fait l'objet d'une telle collecte, avec certaines différences qui seront abordées dans cette section. Il est d'abord primordial de définir certains concepts de base importants. Dans la majorité des études, on utilise l'expression « exposition aux impacts » pour désigner l'ensemble des indicateurs d'impacts qui peuvent être étudiés. L'exposition aux impacts est un concept qui peut être décortiqué en plusieurs indicateurs d'impact distincts qui sont souvent utilisés comme variables dépendantes. La fréquence, l'intensité, et l'endroit d'impact sur la tête sont tous des facteurs d'intérêt permettant de décrire les impacts à la tête (Wilcox et al., 2014). Tout d'abord, un

impact est défini comme étant une collision de courte durée entre deux objets causant une force importante. La fréquence des impacts décrit simplement le nombre de coups ou de collisions qui occasionne une certaine force à la tête, souvent par unité de match ou de saison de hockey. L'intensité ou la force des impacts peuvent à leur tour être disséquées en accélération linéaire (g) et vitesse ou accélération rotationnelle (deg/sec ou rad/s²). L'accélération linéaire est le taux de changement de vitesse d'un objet, représentée par un vecteur. L'accélération rotationnelle est le taux de changement de la vitesse de rotation d'un objet. Il est aussi fréquent d'utiliser des indices de sévérité d'impact comme le Head Injury Criterion (HIC) qui sont basés sur un score pondéré des indicateurs de force linéaire et rotationnelle et représentent la probabilité de blessure suite à un impact.

L'utilisation d'accéléromètres dans le casque est de loin l'outil le plus répandu pour mesurer les forces d'impact à la tête au hockey. Il est alors très important d'explorer les différentes options pour ces casques instrumentés, ainsi que leur validité comme outil de mesure. Le système de quantification des forces d'impact à la tête le plus répandu dans les sports avec casques est le « Head Impact Telemetry System » (HITs) (Simbex, LCC; Lebanon, NH) développé en 2003 par Greenwald et ses collègues. Le système combine les mesures d'accélération linéaire de six à neuf accéléromètres à axe unique en utilisant un algorithme complexe. Ceci permet d'obtenir des mesures d'accélération linéaire, d'accélération rotationnelle et le « Head Impact Telemetry Severity Profile » (HITsp), qui est un autre type d'indice de sévérité d'impact.

Il existe plusieurs études portant sur la validité du système HIT. Sa précision a été démontrée à plusieurs reprises en utilisant le « Hybrid III anthropomorphic test device » (ATD) comme outil de référence (Patton, 2016). Une étude révèle une erreur moyenne de 4%

associée à l'accélération linéaire et une erreur moyenne de 17% associée à l'accélération rotationnelle pour le système HIT comparativement au Hybrid III ATD (Crisco, Chu et Greenwald, 2005). Par contre, une autre étude a trouvé que le système HIT surestimait la force d'accélération linéaire en moyenne de 1% et sous-estimait l'accélération rotationnelle en moyenne de 6% (Beckwith, Chu et Greenwald, 2012). En utilisant des casques de hockey, Allison et ses collaborateurs ont aussi trouvé une corrélation entre l'accélération linéaire ($R^2=0,88$), rotationnelle ($R^2=0,60$) et les mesures de référence du Hybrid III ATD (2014).

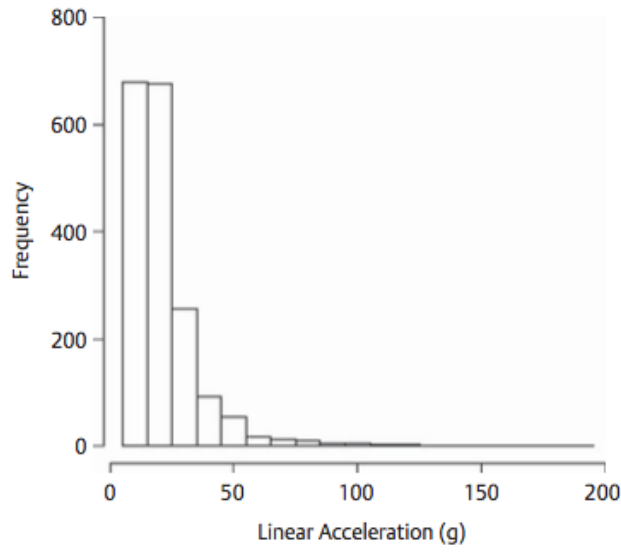
Bien que le système HIT ait été validé par plusieurs études et soit utilisé dans plusieurs contextes pour mesurer des forces d'impact à la tête, il ne vient pas sans lacunes. D'abord, d'un point de vue d'accessibilité, le système est assez dispendieux. De plus, il peut seulement être utilisé dans certains modèles spécifiques de casques, ce qui peut poser un assez grand enjeu de faisabilité, car, selon le niveau de jeu, les joueurs n'auront pas tous le même casque de hockey, surtout chez les jeunes équipes de niveau non compétitif. Ceci rend l'utilisation du système HIT difficile dans ces circonstances. Heureusement, il existe des outils alternatifs qui permettent de capter les forces d'impact de manière plus universelle.

Le « GForceTracker » (Markham, Ontario) est un appareil qui contient un accéléromètre et un gyroscope triaxial permettant d'obtenir des mesures d'accélération linéaire et de vitesse rotationnelle. Dans une étude, les auteurs ont comparé les mesures du GForceTracker au système HIII ATD et ont trouvé des différences quant aux valeurs brutes d'accélération linéaire (Allison, Kang, Maltese, Bolte et Arbogast, 2015). Une calibration de l'appareil pour chaque casque est nécessaire afin de déterminer la direction de l'impact, une fonction qui a depuis été rajoutée au système. Après ces ajustements, les chercheurs ont trouvé une erreur moyenne absolue de 10-15% associée à l'accélération linéaire. Quant à

l'accélération rotationnelle, les données brutes produisent des estimations avec 10-15% d'erreur, ce qui est comparable au système HIT (Allison et al., 2015). Le grand avantage du GForceTracker est sa petite taille qui rend son installation beaucoup plus universelle comparativement au HITs.

Au hockey, comme dans la plupart des sports contacts, on peut s'attendre à observer des impacts à la tête qui sont majoritairement de petite intensité. Comme l'illustre la Figure 2, Reed et ses collaborateurs ont rapporté que 83% des impacts enregistrés dans leur étude étaient plus petits que 30g (2010). La force linéaire moyenne des impacts dans les études au hockey peut varier entre 15g à 28g. À ce jour, il n'y a aucun seuil établi pour la force nécessaire pour causer une commotion cérébrale puisque celui-ci varie largement en fonction de plusieurs facteurs liés à l'individu (Guskiewicz et Mihalik, 2011). Bien qu'il n'y ait pas de consensus sur ce seuil, des études au football américain ont cependant tenté de le quantifier. Une étude rapporte que des impacts de 62g, 82g, et 106g sont associés à des probabilités de 25%, 50% et 80% de souffrir un traumatisme crânien léger (Zhang, Yang et King, 2004). Il est toutefois possible de subir une commotion cérébrale avec un impact de moins grande intensité ou de ne pas en subir une suite à un impact plus grand (Guskiewicz et al., 2011).

Figure 2. Exemple de distribution des impacts: Force linéaire (Reed et al., 2010)



Facteurs prédictifs des impacts à la tête

Plusieurs variables sont soupçonnées de jouer un rôle dans la fréquence et l'intensité des impacts infligés à la tête des athlètes. La première étude ayant quantifié l'intensité ou la force des impacts à la tête des joueurs de hockey pendant une saison complète a été publiée par Mihalik et ses collègues en 2008. Cette étude a tenté de caractériser les impacts à la tête chez 14 jeunes garçons pendant 58 parties et 51 pratiques de hockey. L'objectif de cette étude était premièrement de décrire l'intensité des impacts subis par les joueurs ainsi que d'évaluer les différences de force d'impact en fonction du type d'événement (parties vs pratiques), de la position du joueur et de l'endroit d'impact sur la tête. Depuis cette étude, qui était la première de son type, une douzaine d'autres ont exploré les liens entre certaines variables indépendantes et les impacts à la tête. Un tableau résumé de ces études peut être retrouvé à l'Annexe 2. Les variables étudiées peuvent être catégorisées en deux groupes : les caractéristiques propres au joueur et propres au jeu du hockey. Les facteurs liés au joueur qui ont été étudiés incluent

l'âge, le poids, la grandeur, l'indice de masse corporelle, le sexe, la position du joueur, le niveau d'anticipation de la collision, la force musculaire cervicale, la connaissance du jeu sécuritaire et l'agressivité. Les caractéristiques propres au jeu du hockey qui ont été étudiées incluent l'effet du type d'événement (partie vs pratique, tournois vs éliminatoires), le type de collision, l'endroit de l'impact sur la tête et l'association avec des infractions. Puisque si peu d'études ont traité chaque facteur et que le domaine de recherche est encore en phase exploratoire, il est difficile de se prononcer sur leurs effets définitifs. Par contre, certains facteurs semblent être plus importants et prédictifs que d'autres.

En lien avec les différences entre positions des joueurs sur l'équipe, Reed et ses collègues ont trouvé que les ailiers recevaient des impacts avec fréquence et accélération rotationnelle significativement plus élevées que les défenseurs (2010). Par contre, d'autres études n'ont pas été en mesure d'identifier de telles associations entre positions (Wilcox et al., 2014, Mihalik et al., 2012). Dans les 5 études comparant les impacts entre sexes, on s'aperçoit que les hommes reçoivent des impacts significativement plus fréquents et de plus grandes intensités que les femmes (Schmidt et al., 2016; Wilcox et al., 2014 (2); Eckner et al., 2013; Brainard et al., 2012). Ces mêmes études, avec plusieurs autres, révèlent cependant que l'incidence des commotions cérébrales est plus élevée chez les femmes malgré le fait qu'elles reçoivent en général des impacts à la tête de moins grande fréquence et intensité. Une hypothèse possible qui pourrait être étudiée davantage tire du fait que les mises en échec au hockey féminin ne sont pas permises et donc, lorsqu'il y a un impact plus violent que d'habitude, elles sont moins en mesure de l'anticiper et de se protéger que si les mises en échec étaient permises et plus fréquentes. De plus, car les mises en échec ne sont pas permises au hockey féminin, les femmes ne reçoivent pas nécessairement de séances éducatives

obligatoires qui enseignent les concepts du jeu sécuritaire. Justement, Schmidt et ses collègues ont mesuré l'association entre le jeu sécuritaire et les impacts à la tête chez les garçons adolescents et les filles adolescentes (2016). Ils ont trouvé que les garçons avaient des connaissances significativement meilleures au sujet du jeu sécuritaire au hockey que les filles, mais ils n'ont trouvé aucune association significative entre le niveau de connaissances et l'intensité des impacts à la tête. Le concept du jeu sécuritaire dans les sports est peu abordé dans la littérature, surtout au niveau de son association avec les impacts à la tête ou les commotions cérébrales. La connaissance du jeu sécuritaire inclut les connaissances au sujet des règlements du jeu, des stratégies et méthodes pour se protéger et comment jouer de manière à ne pas risquer de blesser un autre joueur (Schmidt et al., 2016). L'agressivité des joueurs est un autre concept qui a été étudié par Schmidt et ses collaborateurs (2016). Maxwell définit l'agressivité dans les sports comme tout comportement intentionnel qui n'est pas permis et qui est dirigé vers un individu impliqué dans le match (2004). Il a été trouvé que les joueurs de hockey adolescents plus agressifs reçoivent des impacts avec une accélération rotationnelle plus grande durant les parties que durant les pratiques comparativement aux joueurs moins agressifs (Schmidt et al., 2016). Aussi par rapport aux comportements agressifs, une étude a observé que les impacts qui résultaient d'infractions, c'est-à-dire des actions non permises, causaient des forces d'accélération linéaire significativement plus grandes (2010). Finalement, la plupart des études démontrent clairement que les impacts sont significativement plus fréquents et intenses durant les parties comparativement aux pratiques, simplement en raison de la nature de l'activité (Schmidt et al., 2016, Mihalik et al., 2008).

Évaluation critique de la littérature

Forces des études

Bien que le domaine de recherche des impacts à la tête soit encore dans ses débuts, on retrouve des études de bonne qualité. La force principale des études qui mesurent les forces d'impact à la tête est justement le fait que l'on puisse obtenir une mesure objective et précise de la variable dépendante en utilisant des détecteurs installés directement sur les athlètes. Les études mesurant l'incidence des commotions cérébrales prennent beaucoup de ressources, car les commotions cérébrales surviennent en moyenne seulement 1.2 fois par 1000 expositions-athlète (Pfister et al., 2016). Cependant, en mesurant ce qui cause la commotion cérébrale, soit les impacts, on obtient des informations importantes sur les facteurs qui sont potentiellement aussi associés aux commotions cérébrales. Deuxièmement, le diagnostic des commotions cérébrales est encore très subjectif, variable et largement sous-diagnostiqué (Elliott et al., 2015). Être capable de quantifier les forces d'impact à la tête des joueurs est un grand avantage, car nous pouvons obtenir une mesure du mécanisme sous-jacent des commotions cérébrales sans même que ces dernières ne surviennent.

Faiblesses des études

Plusieurs faiblesses sont ressorties dans les études, ce qui est inhérent au domaine de recherche relativement récent. D'abord, on peut soulever certaines limites par rapport à l'échantillonnage ainsi qu'aux populations d'étude. La méthode d'échantillonnage utilisée dans toutes les études mesurant les forces d'impact comme variable dépendante est l'échantillonnage non probabiliste par choix raisonné. Bien que le raisonnement derrière le

choix des équipes de hockey étudiées n'ait pas été explicité, on peut supposer que cette sélection a été faite sur une base d'accessibilité et d'acceptabilité des équipes de hockey. Ceci pourrait poser un biais de sélection si les équipes ayant refusé de participer diffèrent des équipes étudiées. On pourrait postuler que les équipes qui refusent de participer ont adopté une culture qui encourage les joueurs à être plus agressifs. On peut aussi remarquer que les études ont souvent un problème de taille d'échantillon et de pertes au suivi. Il est très difficile de suivre une équipe pour plus d'une saison de hockey, car il y a plusieurs entrées et sorties de l'équipe durant la saison et entre les saisons. Le contexte scolaire ou collégial est beaucoup plus adapté pour un suivi de plusieurs saisons, car les équipes sont plus stables d'une saison à l'autre. Par ailleurs, seulement une étude portait sur la mesure des forces d'impact dans une équipe canadienne (Reed et al., 2010). Il est alors inconnu si les autres études américaines sont généralisables à un contexte canadien. Il se peut que la forte culture de hockey au Canada puisse générer des différences aux États-Unis.

Par ailleurs, certaines études ont rencontré des limites en ce qui concerne la mesure des variables indépendantes qui pourraient avoir un effet sur les forces d'impact. Certaines de ces variables sont fixes et plus objectives et donc plus faciles à mesurer, par exemple; la position du joueur, le type de collision, l'endroit d'impact et le sexe. Par contre, certaines variables indépendantes sont plus difficiles à recueillir, car elles sont très variables et peuvent laisser place à une certaine interprétation chez le joueur ou l'évaluateur. On retrouve parmi ces variables le niveau d'anticipation d'une collision qui est basé sur des descripteurs de positionnement corporel (Mihalik et al., 2010), le niveau d'agressivité mesuré par un questionnaire auto-rapporté (Schmidt et al., 2016), ainsi que le niveau de connaissances du jeu sécuritaire (Schmidt et al., 2016). Dans l'étude de Schmidt et ses collègues, qui avait comme

objectif d'identifier les différences d'agressivité et de connaissances du jeu sécuritaire associées aux forces d'impact chez les garçons et les filles, le niveau d'agressivité a été mesuré à l'aide du Competitive Aggressiveness and Anger scale, qui a été validé dans plusieurs sports (Maxwell et Moores, 2007). Afin de mesurer le niveau de connaissances du jeu sécuritaire, ils ont dû développer un nouveau questionnaire, le premier de son type. La fiabilité de ce questionnaire était critiquable, avec des valeurs de Kappa allant de 0,235 à 1 et un coefficient intraclasse de 0,68. De plus, le questionnaire a été développé en fonction des lignes directrices de USA Hockey et est adapté à un contexte de culture de hockey américaine, ce qui rend la portée de sa généralisabilité largement inconnue.

Lacunes dans les connaissances

Il est évident que le domaine de recherche des commotions cérébrales, surtout avec l'utilisation des capteurs accélérométriques, est encore en pleine exploration. Il y a alors peu de choses que nous connaissons de manière définitive, ce qui pourrait justifier l'étude de presque n'importe laquelle des variables qui ont déjà été examinées. L'effet des impacts cumulés à la tête, de l'historique des commotions cérébrales, du niveau de connaissances du jeu sécuritaire et de l'agressivité des joueurs sur les forces d'impact à la tête sont particulièrement celles qui ont été très peu étudiées. Les différences entre hommes et femmes au niveau des impacts à la tête et des commotions cérébrales nécessiteraient aussi une étude plus approfondie. Dernièrement, la grande majorité des études ont été faites aux États-Unis et nous ne connaissons donc pas à quel point les résultats peuvent être appliqués à la culture canadienne.

Constats, objectifs de recherche et hypothèses

Dans une perspective de santé publique, il est de grande importance de s'attaquer aux facteurs qui pourraient être ciblés et modifiés afin de réduire la fréquence des impacts de grande intensité chez les joueurs de hockey. La connaissance du jeu sécuritaire ainsi que l'agressivité des joueurs sont des variables qui ont été très peu étudiées dans le domaine et qui sont certainement modifiables. Afin de combler les lacunes dans la littérature scientifique qui porte sur les impacts à la tête au hockey, ainsi que de développer un projet qui servira de base pour le développement de recommandations et de programmes préventifs de commotions cérébrales, les objectifs de recherche suivants ont été développés :

- 1) Déterminer si la fréquence et l'intensité des impacts à la tête durant les matchs sont associées à :
 - a) La connaissance du jeu sécuritaire (CJS)
 - b) L'agressivité auto-rapportée
 - c) L'historique de commotions cérébrales

Nous postulons que les joueurs avec un niveau de CJS plus élevé et un niveau d'agressivité plus bas subiront des impacts moins fréquents et intenses que les joueurs avec un niveau bas de CJS et un niveau d'agressivité élevé. Nous stipulons aussi que les joueurs ayant souffert un plus grand nombre de commotions cérébrales par le passé joueront de manière plus prudente pour éviter d'autres commotions et donc subiront des impacts moins fréquents et moins intenses.

Méthodes

Description de l'étude

Ce projet est une étude portant sur la mesure des impacts à la tête des joueurs de hockey adolescents québécois en lien avec la problématique des commotions cérébrales. À notre connaissance, cette étude est la première au Québec et la deuxième au Canada portant sur la quantification des impacts à la tête à l'aide de méthodes d'accélérométrie. Deux équipes de hockey adolescent ont été suivies pendant environ 3 mois. Au total, 23 joueurs ont été équipés d'un accéléromètre et gyroscope triaxial installé sur le casque qui a permis de mesurer la fréquence et l'intensité des impacts à la tête durant les matchs. Au mi-suivi, les joueurs ont chacun rempli deux questionnaires. L'un portait sur les CJS et l'autre sur l'agressivité.

Devis de recherche

Cette étude suit un devis de cohorte prospective qui s'étend de septembre à décembre 2017. Les participants ont été recrutés à la fin septembre 2017 et la collecte de données a débuté en concordance avec le début de la saison de hockey, soit la mi-octobre. Durant la période de collecte, les impacts à la tête ont été enregistrés pour un total de 26 matchs. Au mi-suivi (mi-novembre 2017), chaque joueur a rempli le « Safe-Play Questionnaire » (SPQ, Schmidt et al., 2016) ainsi que le « Competitive Anger and Aggressiveness Scale » (CAAS, Maxwell et al., 2007).

Population d'étude

Le choix de la population d'étude dépendait de plusieurs facteurs. En raison de la difficulté de recrutement, l'échantillonnage s'est fait par choix raisonné sur la base de la volonté des équipes à participer. D'abord, puisque le but ultime de l'étude était de mesurer les impacts à la tête, il était important de trouver des équipes jouant à un niveau où les mises en échec sont permises, sinon il n'y aurait pas assez d'impacts à mesurer. Au Québec, les mises en échec sont permises à partir de 13 ans. Ceci dit, il y avait deux options générales pour le choix d'échantillon. En ciblant les équipes plus jeunes (13-14 ans et/ou 15-17 ans), nous serions en mesure d'étudier un segment de la population qui est plus vulnérable aux effets des commotions cérébrales. Par contre, en ciblant un niveau plus âgé (18-21 ans et plus), il y aurait une meilleure chance d'observer des impacts plus fréquents et intenses en raison du niveau plus compétitif et intense de hockey.

Un calcul de taille d'échantillon a été effectué afin de déterminer le nombre d'individus nécessaires dans chaque groupe du niveau d'agressivité (élevé/bas) afin d'observer une différence statistiquement significative entre les forces d'accélération. Une dichotomisation du niveau d'agressivité a été utilisée, car le calcul est basé sur l'étude de Schmidt et al., qui ont créé une catégorie joueurs agressifs et une autre non agressifs (2016). De plus, seul le calcul pour les groupes d'agressivité a été réalisé en raison de l'indisponibilité des écarts-types des forces d'impact pour les autres variables d'intérêt comme le jeu sécuritaire. Selon le calcul présenté à l'Annexe 3, il faudrait 15 individus dans chaque groupe du niveau d'agressivité pour observer une différence de 80 rad/s^2 de l'accélération rotationnelle avec un niveau de confiance de 5% et une puissance de 80%.

Suite au recrutement qui sera détaillé à la section « recrutement », 23 joueurs dans deux équipes de la Ligue de Hockey Préparatoire Scolaire ont été inclus dans l'étude. 14 joueurs provenaient d'une équipe de niveau M15MJ et 9 autres d'une équipe M17MN. Le niveau M15MJ est composé de garçons âgés de 13, 14 et 15 ans jouant au hockey majeur et le niveau M17MN est composé de garçons âgés de 15, 16 et 17 ans jouant au hockey mineur. Un point important à considérer est qu'à ces deux niveaux, seule la mise en échec progressive est permise.

Outils de mesure

Impacts à la tête

L'outil de mesure des impacts sélectionné pour cette étude est le « GForceTracker » (GForceTracker Inc., Markham, Ontario). Cet appareil est un accéléromètre triaxial et un gyroscope. L'accéléromètre permet de mesurer l'accélération linéaire (g) à une fréquence de 3 kHz et le gyroscope mesure directement la vitesse rotationnelle (deg/sec) à 760 Hz. De plus, l'appareil calcule automatiquement le HIC. Les spécifications de l'appareil sont disponibles à l'Annexe 4. L'utilisation d'accéléromètres triaxiaux pour la mesure de forces d'impact à la tête dans les sports a précédemment été vérifiée et validée (Patton, 2016). Dans cette étude, le capteur était configuré pour enregistrer que les impacts de 10g ou plus, un seuil prédéterminé qui peut être modifié selon les besoins de l'étude. Le seuil de 10g est utilisé dans la majorité des études et est justifié par le fait qu'une force d'accélération linéaire sous 10g est bien en dessous d'une force pouvant causer une commotion cérébrale par elle-même et il serait difficile à ce seuil de distinguer une collision d'un mouvement volontaire de la tête du joueur

(Wilcox et al., 2014). Au moment d'un impact, le capteur enregistre les forces en continu pour une période de 40ms, puis il se met en veille jusqu'à l'occurrence d'un prochain impact. Un seul impact est représenté par la valeur maximale enregistrée pour l'indicateur respectif à l'intérieur de l'intervalle de 40ms. De plus, la date et le temps spécifique à la milliseconde près sont disponibles pour chaque impact.

Connaissances du jeu sécuritaire (CJS)

La connaissance du jeu sécuritaire (CJS) des joueurs a été mesurée en utilisant le « Safe-Play Questionnaire » (SPQ) (Schmidt et al., 2016). Ce questionnaire, disponible à l'Annexe 5, est composé de 7 items et a été développé spécifiquement pour mesurer la CJS au hockey sur glace. Trois construits sont évalués dans le questionnaire : le jeu sécuritaire (questions 1, 3, 4), la mise en échec (questions 2, 5, 6) et comment approcher la bande (question 7). En ce qui concerne la validité de l'instrument, ce questionnaire présente une fiabilité modérée avec un coefficient intraclass de 0,68. On observe aussi des valeurs Kappas faibles à élevées qui s'étendent de 0.23 à 1.00 (Schmidt et al., 2016). Bien que les propriétés métrologiques de cet outil ne soient pas optimales, c'est le seul questionnaire disponible mesurant le niveau de CJS. Le questionnaire a été traduit en français afin de s'adapter au contexte québécois.

Agressivité

L'agressivité auto-rapportée des joueurs a été mesurée en utilisant le « Competitive Agressiveness and Anger Scale » (CAAS) développé par Maxwell et Moores en 2007, disponible à l'Annexe 6. Le questionnaire est composé de 12 items ayant une échelle de 1 à 5, où 1 indique que le joueur ne se sent jamais comme l'énoncé décrit et 5 presque toujours. Les

énoncés portent sur les attitudes et comportements agressifs possibles durant un match régulier. Le score minimal de 12 représenterait le niveau d'agressivité le plus bas et le score maximal de 60 représenterait le niveau d'agressivité le plus haut. Ce questionnaire a été validé pour son utilisation dans plusieurs sports et on rapporte une bonne fiabilité de l'instrument avec un coefficient de corrélation intraclasse de 0,93 (Maxwell et al., 2007). Le questionnaire a été traduit en français afin de s'adapter au contexte québécois.

Historique de commotions cérébrales

L'historique de commotions cérébrales, soit le nombre de commotions antérieures rapportées par le joueur a été mesuré avec l'ajout de la question suivante au questionnaire du jeu sécuritaire : « As-tu déjà eu une commotion cérébrale? Si oui, combien? ». Bien que cette mesure auto-rapportée des antécédents de commotions cérébrales ne soit pas idéale, quelques facteurs importants ont contribué à ce choix d'outil de mesure. D'une part, le devis populationnel de cette étude ne s'apprête pas très bien à l'étude de dossiers médicaux puisque le recrutement ne s'est pas fait en milieu clinique. D'une autre part, il est important de noter que la mesure auto-rapportée de l'historique de commotions cérébrales est utilisée en recherche ainsi qu'en milieu clinique et peut même servir de mesure assez fidèle, c'est-à-dire stable et précise dans le temps. En fait, une étude auprès d'athlètes du secondaire a démontré que la majorité des athlètes déclarent leurs commotions de manière fidèle dans le temps lorsqu'interrogés à deux années d'intervalle (Wojtowicz et al., 2017). De la même façon, une autre étude a trouvé que les aînés rapportent leur historique de traumatismes crâniens de manière très fidèle (Wilmoth et al., 2017). Il est alors possible d'obtenir une bonne mesure auto-rapportée de l'historique de commotions, mais il devrait être interprété avec précaution, car la méthode par excellence est après tout l'analyse du dossier médical par un clinicien.

Variables

Variables dépendantes

Cette étude identifie quatre indicateurs associés aux impacts à la tête et ils seront traités comme des variables dépendantes distinctes.

1. La fréquence des impacts identifie le nombre d'impacts par match dépassant un seuil de 10g. Ce seuil a été justifié à la section outils
2. L'intensité d'un impact à la tête est captée par :
 - a. L'accélération linéaire (g) moyenne des impacts par match
 - b. La vitesse rotationnelle (degrés/secondes) moyenne des impacts par match
 - c. Le « Head Injury Criterion » (sans unité) moyen des impacts par match
 - d. L'accélération linéaire maximale (g) par match : obtenue en prenant la plus grande valeur d'accélération linéaire pour un match donné
 - e. La vitesse rotationnelle maximale (deg/sec) par match : obtenue en prenant la plus grande valeur de vitesse rotationnelle pour un match donné

Variables indépendantes

Trois variables explicatives principales sont identifiées dans cette étude :

1. La connaissance du jeu sécuritaire (CJS) du joueur (score de 1 à 7)
2. L'agressivité auto-rapportée du joueur (score de 12 à 60)
3. L'historique de commotions cérébrales du joueur (nombre de commotions antérieures)

Recrutement

Le recrutement a été initié à la fin de l'été 2017, car la constitution des équipes se fait à ce moment de l'année. Plusieurs organismes de hockey au Québec ont été contactés et certains rencontrés pour connaître leur intérêt à participer à l'étude ou de faciliter l'accès et la communication avec des équipes sous leur direction. À la suite d'une rencontre avec un dirigeant responsable de plusieurs équipes de hockey au sein de son institution à Montréal, nous avons reçu la permission de discuter avec les entraîneurs des équipes. Pour des raisons éthiques, l'affiliation exacte des équipes recrutées ne peut pas être divulguée. Deux équipes de la Ligue de Hockey Préparatoire Scolaire ont été sélectionnées et les joueurs ont été rencontrés après un entraînement pour discuter du projet. Les joueurs étaient déjà au courant de la possibilité d'une étude portant sur les commotions cérébrales avant cette rencontre avec le chercheur étudiant. Le projet leur a été décrit et les formulaires de consentement ont été distribués. Dans l'équipe M15MJ, 100% (14) des joueurs présents à la séance ont accepté de participer à l'étude. Dans l'équipe M17MN, 90% (9) des joueurs présents à la séance d'information ont accepté de participer. Les deux équipes étaient constituées entièrement de garçons.

Collecte de données

Lors de la séance de recrutement avec les joueurs, un court questionnaire a été distribué pour amasser les informations suivantes : nom, date de naissance, taille, poids, position et numéro de chandail (voir Annexe 7). La prochaine étape était l'installation des accéléromètres sur les casques des joueurs. Un système adhésif-velcro a été utilisé pour fixer les accéléromètres de façon semi-permanente. L'adhésif a été fixé sur le casque à l'endroit qui

permettait d'avoir la plus grande surface de contact, souvent à l'arrière ou sur le dessus du casque (image à l'Annexe 8). À l'aide du logiciel GForceTracker, chaque accéléromètre a été calibré par rapport à sa position exacte sur le casque. À la fin de la session d'installation, chaque joueur avait sur son casque un capteur calibré qui pouvait être enlevé et remis grâce au système adhésif-velcro. Environ 15 minutes avant le début de chaque match, le chercheur étudiant se présentait à l'aréna pour fixer le capteur sur chaque casque et le mettre en marche. Le joueur jouait son match comme d'habitude et le capteur était ensuite récupéré après le match. Après chaque journée de collecte, le chercheur étudiant rechargeait les capteurs et téléchargeait les données dans le dossier du joueur. À la fin de la période de suivi, les adhésifs installés sur les casques ont été enlevés.

Les questionnaires ont été remplis au mi-suivi, soit en novembre 2017. Dans le cas des deux équipes, la période choisie pour l'administration du questionnaire était entre deux matchs, car tous les joueurs étaient présents et attendaient de jouer leur prochain match. Au total, il y avait 20 questions (7 SPQ, 12 CAAS, 1 historique de commotions) qui s'étendaient sur 1 feuille recto verso. Les joueurs étaient rassemblés dans un espace public avec des tables à l'aréna. Les questionnaires ont été distribués aux joueurs, qui avaient autant de temps que nécessaire pour compléter les questionnaires, mais cela ne prenait en moyenne qu'une vingtaine de minutes. Le chercheur étudiant était présent pour répondre aux questions et s'assurer que l'exercice se faisait de manière individuelle.

Considérations éthiques

Lors de la conception de cette étude, quelques enjeux éthiques potentiels sont ressortis. Le premier enjeu éthique à considérer est que le port des accéléromètres pourrait induire des

forces d'impact plus grandes que d'habitude. Il se pourrait que les joueurs participant à l'étude ou les joueurs adversaires qui ont connaissance du projet veuillent induire des enregistrements plus élevés sur les accéléromètres pour faire preuve de leur puissance. La connaissance du projet a alors été gardée à l'interne le plus que possible et les joueurs ont été incités de jouer comme d'habitude. Ensuite, la question de sensibilité de l'information doit être soulevée. À un niveau compétitif de hockey, certains joueurs ont des ambitions de hockey professionnel et voudront certainement que les résultats soient gardés confidentiels. Il était strictement interdit de partager les résultats avec qui que ce soit, même les entraîneurs de l'équipe. Les données provenant des accéléromètres étaient téléchargées périodiquement à un ordinateur du CHUM tandis que les résultats des questionnaires ont été transcrits et codés sur un ordinateur du CHUM. Les copies papier des questionnaires sont barrées dans un local au CRCHUM. Les données seront conservées pour 10 ans. Chaque participant a été assigné un code (ID) qui est utilisé pour le traitement des données et la diffusion des résultats. La clé du code sera détenue par les chercheurs principaux du projet sur un ordinateur du CHUM dans un document sécurisé. Le nom et l'affiliation des équipes ne seront jamais divulgués afin de protéger l'anonymat des participants. L'approbation éthique a été obtenue par le Comité d'éthique de la recherche du CHUM (copie du certificat à l'Annexe 9).

Manipulation des données

Les données d'impact ont été exportées du logiciel GForceTracker sous format Microsoft Excel. Ce logiciel fournissait les données d'impact pour chaque « session » ou match pour chaque joueur. Un travail d'agrégation des données a été réalisé afin de combiner

les impacts de tous les joueurs pour chaque partie jouée. En même temps, un nettoyage des données a été exécuté afin d'éliminer les mesures d'impacts invalides. Pour ce faire, les temps d'impact spécifiques pour chaque joueur ont été vérifiés en lien avec le temps réel du début et de la fin du match et les impacts à l'extérieur de cette plage ont été éliminés complètement. Les capteurs étaient effectivement allumés environ 15 minutes avant le début du match, il se peut donc que des impacts qui ne résultaient pas d'événements sur la glace soient captés. De plus, après le match, les joueurs lancent souvent leur casque dans leur poche de hockey, ce qui provoquerait la plupart du temps une fausse mesure d'impact.

En raison de la nature répétée de la mesure des impacts, les données ont été restructurées selon les trois niveaux suivants : impacts, matchs et individus. Après l'exportation des données au niveau impact, des fichiers aux niveaux matchs et individus ont été créés en agrégeant les données.

Analyse statistique

Les statistiques descriptives de l'échantillon ont été générées pour les variables explicatives principales (jeu sécuritaire, agressivité, historique de commotion), les caractéristiques des joueurs (âge, poids, taille, position, nombre de parties jouées) et finalement pour les variables dépendantes (fréquence et intensité des impacts).

Des modèles linéaires mixtes avec intercept aléatoire ont été utilisés au niveau match pour identifier des associations significatives entre les impacts et le jeu sécuritaire, l'agressivité et l'historique de commotions cérébrales. Ce type de modèle permet d'obtenir un intercept pour chaque joueur et de prendre en compte l'effet des mesures d'impact répétées et des différences par rapport au nombre de matchs joués. Un modèle par variable dépendante,

soit la fréquence des impacts, l'accélération linéaire, la vitesse rotationnelle, le HIC, l'accélération linéaire maximale et la vitesse rotationnelle maximale par match a été créé. Les variables d'intérêt (SPQ, CAAS et HIST) ont été incluses indépendamment du niveau de significativité obtenu afin de répondre aux objectifs de recherche établis. Le modèle final pour une variable dépendante a été choisi en créant un modèle global avec l'ensemble des variables disponibles et un autre modèle imbriqué contenant les variables explicatives d'intérêt (SPQ, CAAS et HIST) ainsi que les variables de contrôle significativement associées à la variable dépendante dans un modèle univarié. Le AIC des deux modèles a ensuite été comparé pour déterminer si un modèle différait significativement de l'autre ($p < 0,1$). En absence d'une différence, le modèle global a été retenu. Un seuil de $\alpha < 0,05$ a été choisi comme niveau de confiance pour l'identification d'associations statistiquement significatives. Le logiciel SPSS version 25 a été utilisé pour générer les statistiques descriptives et les graphiques tandis que le logiciel R avec le package « lme4 » a été utilisé pour l'analyse multiniveau.

Résultats

Description de l'échantillon

Au total, 23 joueurs ont répondu aux deux questionnaires et ont été suivis pendant un maximum de 13 matchs. Le tableau I présente les statistiques descriptives pour les caractéristiques des joueurs appartenant aux deux équipes. L'équipe M15 majeur est constituée de garçons âgés de 14 et 15 ans et l'équipe M17 mineur est constituée de garçons âgés de 15 et 16 ans. Dans cet échantillon, 65% des joueurs étaient des attaquants et 35% étaient des défenseurs, ce qui représente environ la répartition habituelle par position dans une équipe de hockey. Le score moyen pour le questionnaire du jeu sécuritaire était de 5,52 sur 7 points possibles et 31,4 sur 60 points possibles pour le questionnaire d'agressivité. La moyenne pour le nombre de commotions antécédentes était de 0,57 avec la majorité des joueurs n'ayant jamais souffert de commotion cérébrale (61%)

Description des impacts

Au total, 1006 impacts ont été enregistrés durant 26 matchs de saison régulière chez deux équipes de hockey au sein de 23 individus. Comme illustré au Tableau I, un joueur recevait en moyenne 4 impacts par match. En ce qui concerne l'intensité des impacts, l'accélération linéaire et la vitesse rotationnelle moyenne des impacts enregistrés étaient de 25,7 g et 607,1 deg/sec, respectivement. De plus, les Figures 3, 4 et 5 illustrent la distribution des forces d'impact enregistrées durant l'étude.

Tableau I. Statistiques descriptives des joueurs de l'échantillon

Joueurs des équipes M15MJ et M17MN (n=23)	
Variables démographiques	
Âge (ans)	
Moyenne ± écart-type	14,7 ± 0,83
Grandeur (cm)	
Moyenne ± écart-type	172 ± 6,63
Poids (lb)	
Moyenne ± écart-type	144 ± 20,4
Caractéristiques joueur	
Position	
Attaquant, n (%)	15 (65%)
Défenseur, n (%)	8 (35%)
Parties jouées	
Moyenne ± écart-type	10,4 ± 2,17
Scores de questionnaires	
Jeu sécuritaire (SPQ)	
Moyenne ± écart-type	5,52 ± 1,24
Agressivité (CAAS)	
Moyenne ± écart-type	31,4 ± 9,47
Historique de commotion cérébrale	
Moyenne ± écart-type	0,57 ± 0,84
Données d'impact	
Nombre d'impacts (n)	
Moyenne ± écart-type	44,4 ± 39,0
Nombre moyen d'impacts par match (n)	
Moyenne ± écart-type	3,97 ± 3,51
Accélération linéaire (g)	
Moyenne ± écart-type	25,7 ± 20,9
Vitesse rotationnelle (deg/sec)	
Moyenne ± écart-type	607,1 ± 563,6
HIC	
Moyenne ± écart-type	8,56 ± 2,02

SPQ : «Safe-Play Questionnaire»

CAAS : «Competitive Anger and Aggressiveness Scale»

HIST: défini par le nombre de commotions cérébrales antérieures

HIC : Head Injury Criterion

Figure 3. Distribution des forces d'impact: Accélération linéaire

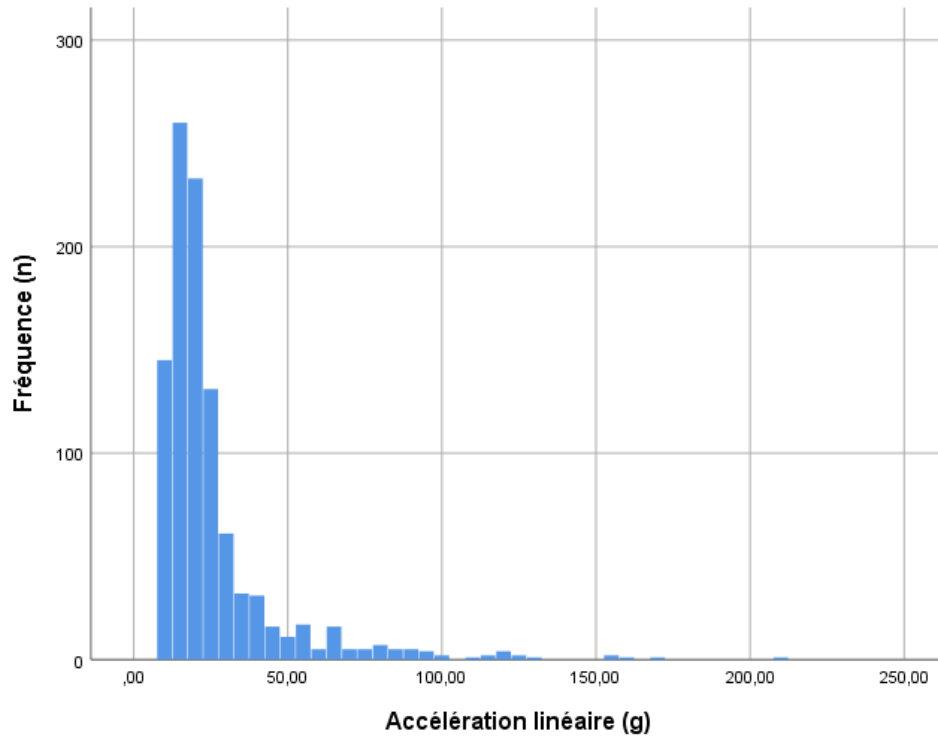


Figure 4. Distribution des forces d'impact: Vitesse rotationnelle

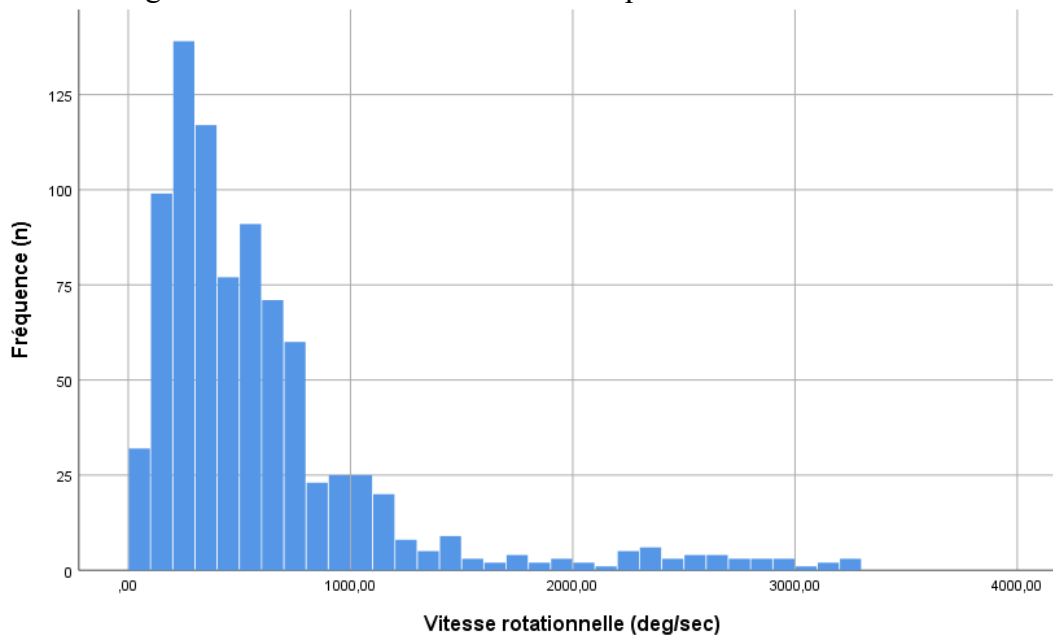
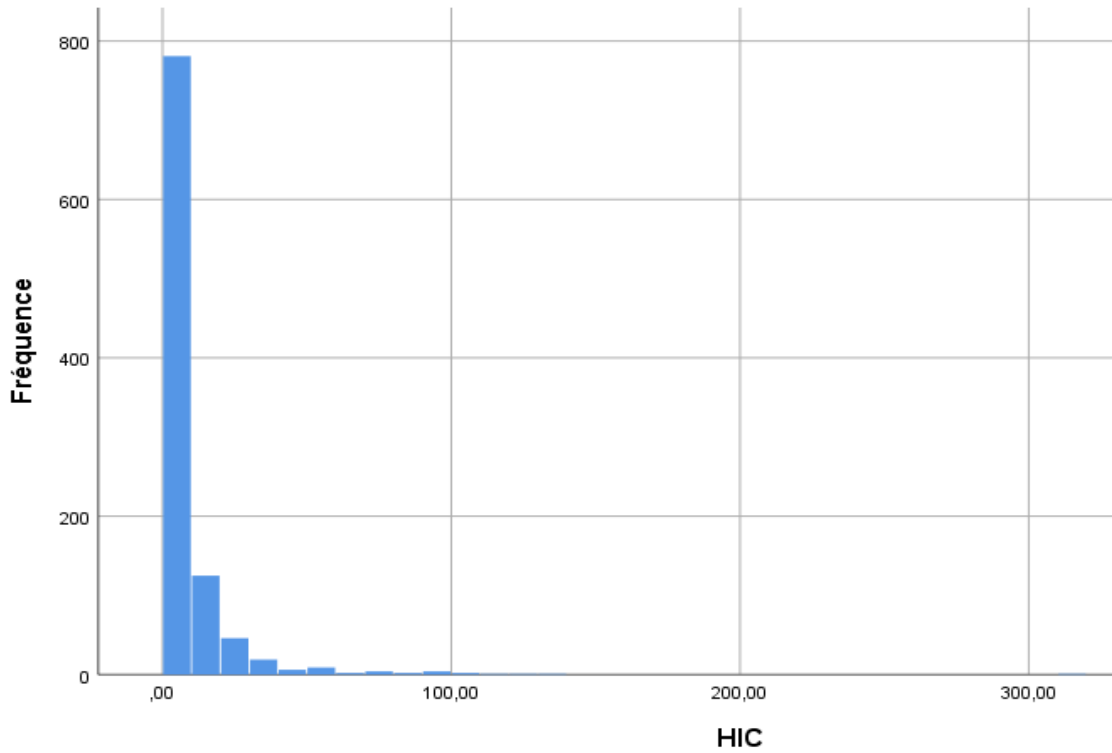


Figure 5. Distribution des forces d'impact : HIC



Connaissances du jeu sécuritaire

Comme présenté au Tableau II, aucune association significative a été trouvée entre la CJS et les impacts à la tête. On peut cependant observer une tendance négative entre la CJS et le HIC, telle que les joueurs ayant un niveau de CJS plus élevé avaient tendance à subir des impacts à la tête avec un HIC plus bas ($\beta = -0,206, p = 0,091$).

Tableau II. Associations entre fréquence, intensité des impacts à la tête et connaissances du jeu sécuritaire, agressivité et historique de commotions cérébrales.

	Fréquence (n)	Accélération linéaire (g)	Vitesse rotationnelle (deg/sec)	HIC
	β (IC à 95%)	β (IC à 95%)	β (IC à 95%)	β (IC à 95%)
Jeu sécuritaire	0,130 (-0,201-0,467)	-0,0840 (-0,198-0,028)	-0,051 (-0,226-0,154)	-0,206* (-0,459-0,041)
Agressivité	0,0238 (-0,023-0,070)	-0,0116 (-0,027-0,004)	-0,007 (-0,036-0,021)	-0,0254 (-0,060-0,010)
Historique de commotions	0,121 (-0,401-0,627)	0,0864 (-0,106-0,281)	0,0450 (-0,303-0,393)	0,223 (-0,204-0,650)

*Marginalement significatif à $\alpha < 0,1$

HIC : Head Injury Criterion

IC : Intervalle de confiance

Agressivité

Aucune association significative n'a été trouvée entre l'agressivité rapportée par le CAAS et les impacts subis à la tête des joueurs de hockey dans cette étude (Tableaux II et III).

Historique de commotions

Comme présenté au Tableau III, une association statistiquement significative positive entre le nombre de commotions cérébrales rapportées par les joueurs et la vitesse rotationnelle maximale des impacts a été observée ($\beta = 0,329$, $p = 0,0384$). C'est-à-dire que les joueurs ayant déjà souffert un plus grand nombre de commotions cérébrales recevaient des impacts avec une force rotationnelle maximale plus grande.

Tableau III. Associations entre forces d'impact maximales par match et jeu sécuritaire, agressivité et historique de commotions.

	Accélération linéaire maximale (g)	Accélération rotationnelle maximale (deg/sec)
	β (IC à 95%)	β (IC à 95%)
Jeu sécuritaire	-0,0318 (-0,190-0,125)	-0,00688 (-0,217-0,203)
Agressivité	-0,00457 (-0,027-0,017)	-0,00252 (-0,032-0,027)
Historique de commotions	0,138 (-0,105-0,383)	0,329* (0,004-0,653)

*Significatif à $\alpha < 0,05$

IC : Intervalle de confiance

Les analyses d'accélération linéaire et rotationnelle maximale se font sur la valeur maximale de force par partie pour un joueur.

Discussion

Le domaine de la quantification des forces d'impact chez les athlètes est très récent et la littérature ne permet pas d'identifier quels facteurs, et encore moins quels facteurs modifiables sont associés aux impacts subis par les joueurs. En comprenant mieux quels facteurs sont associés aux forces d'impact subies par les joueurs de hockey, il devrait être possible d'identifier des cibles pour développer des interventions visant la prévention des commotions cérébrales. Cette étude est la première au Québec et la deuxième au Canada utilisant des mesures objectives par accélérométrie auprès de joueurs de hockey adolescents. À notre connaissance, elle est aussi la première à évaluer les liens avec la connaissance du jeu sécuritaire (CJS) et l'agressivité chez des joueurs de hockey canadiens. Afin de contribuer à l'avancement des connaissances du domaine, l'objectif principal de cette étude était de déterminer si la CJS, l'agressivité et l'historique de commotions cérébrales chez les joueurs étaient associés à la fréquence et à l'intensité des impacts à la tête lors des matchs. Les hypothèses postulées étaient que les joueurs ayant un niveau élevé de CJS, les joueurs moins agressifs et les joueurs avec un historique de commotions cérébrales plus important subissaient des impacts moins fréquents et moins intenses. Comme il sera élaboré dans cette discussion, quelques-unes de ces hypothèses ont pu être confirmées dans notre étude. Les résultats seront mis en contexte dans l'ensemble des connaissances scientifiques du domaine, les limites seront identifiées, et les pistes de recherche futures suggérées.

Durant cette étude, 23 joueurs de hockey scolaire québécois ont été suivis pendant un total de 26 matchs durant lesquels les impacts à la tête ont été mesurés à l'aide d'accéléromètres installés sur les casques. Le résultat le plus saillant de cette étude était que

les joueurs ayant un plus grand nombre de commotions cérébrales antécédentes subissaient des impacts avec des forces rotationnelles maximales significativement plus grandes que les joueurs avec un nombre réduit de commotions cérébrales antécédentes.

Interprétation des résultats

Impacts

Dans notre étude, un joueur recevait en moyenne 4 impacts par match, avec une accélération linéaire moyenne de 26g et une vitesse rotationnelle moyenne de 607deg/sec. À titre de comparaison, la seule autre étude canadienne ayant mesuré les impacts au hockey a trouvé des résultats semblables. Les joueurs dans l'échantillon de Reed et al. subissaient en moyenne 5 impacts par match avec une accélération linéaire moyenne de 22g (2010). La force linéaire légèrement plus élevée dans notre échantillon pourrait être expliquée par le fait qu'une des équipes était composée de joueurs âgés de 15 à 17 ans, tandis que l'échantillon de Reed et al. comportait seulement une équipe de joueurs âgés de 13-14ans. Les valeurs moyennes de vitesse rotationnelle et de HIC sont aussi similaires entre les deux études. On peut également remarquer que la distribution des indicateurs de forces entre les deux études est comparable avec la plupart des impacts étant de faible intensité (Figures 2, 3 et 4).

Connaissances du jeu sécuritaire

Une seule autre étude a évalué la CJS chez des hockeyeurs. Dans cette étude auprès d'équipes de hockey adolescent américaines, les auteurs ont développé le « Safe-Play Questionnaire » afin de mesurer les CJS (Schmidt et al., 2016). Nous avons traduit ce questionnaire pour satisfaire au contexte de hockey québécois, il est donc possible de comparer les résultats des deux études. Tout d'abord, le niveau de CJS des joueurs dans les

deux études était très semblable avec une moyenne de 5,5 et 5,9 sur 7. Il est intéressant de noter que l'échantillon de l'étude de Schmidt et al. incluait à la fois des garçons et des filles et que ces dernières avaient un niveau de CJS significativement moins élevé. Ce qui diffère, par contre, est une différence des scores de questionnaires observés entre les niveaux de jeu. Dans l'étude de Schmidt et al., les joueurs de l'équipe M18 (moins de 18 ans) avaient en moyenne un score de CJS plus élevé que l'équipe M14 (moins de 14 ans). Dans notre étude, aucune différence significative n'a été observée au niveau des scores de CJS entre l'équipe M15MJ (14-15 ans) et M17MN (15-16 ans), ce qui pourrait être expliqué par une plus petite étendue des âges. D'autres études seront nécessaires afin de déterminer si, en effet, les CJS varient en fonction du niveau de jeu.

Aucune association significative n'a été trouvée entre la CJS et les impacts à la tête des joueurs de hockey dans notre échantillon. On peut cependant observer une indication d'une association potentielle entre la CJS et le HIC. Comme illustré au Tableau II, bien que l'intervalle de confiance comprenne la valeur de zéro, il semble y avoir tendance vers un possible effet négatif entre la CJS et le HIC. Cette association serait en fait significative à un seuil de $\alpha < 0,1$. Le HIC, ou « Head Injury Criterion », est une mesure pondérée qui utilise la valeur d'accélération linéaire et rotationnelle pour un impact donné et représente la probabilité d'un traumatisme cérébral à la suite d'un impact. Le HIC est un indicateur important puisque l'utilisation seule de l'accélération linéaire ou de la vitesse rotationnelle comme indicateurs de l'intensité d'un impact n'est pas suffisante pour déterminer le risque de blessure à la tête (Reed et al., 2010). Bien que notre étude ne démontre pas d'association entre la CJS et le HIC, il est tout de même possible que des études futures avec une plus grande taille d'échantillon et une plus grande variabilité au niveau du score de la CJS puissent en identifier.

Même si notre objectif n'était pas de comparer les deux équipes dans notre échantillon, nous avons observé des résultats pertinents en stratifiant le niveau de jeu. En fait, une association significative négative a été observée entre la CJS et l'accélération linéaire des impacts, mais seulement chez les joueurs de l'équipe M15MJ ($\beta = -0,154, p = 0,0177$) (données non présentées). Il se peut que la CJS soit un facteur prédictif des forces linéaires, mais seulement pour un niveau de hockey plus jeune. Cette observation contredit cependant les résultats obtenus par Schmidt et al. qui n'ont pas observé d'association entre la CJS et l'accélération linéaire (2016). De plus, comme dans l'étude de Schmidt et al., nos résultats ne supportent pas l'hypothèse que la CJS est associée à la fréquence des impacts à la tête. Il est pourtant important de continuer à considérer la fréquence des impacts dans les études, car les impacts répétés, même de petite intensité, pourraient potentiellement jouer un rôle dans le développement de dommages cérébraux à long terme (Wilcox et al., 2014).

Agressivité

Comme présenté au Tableau I, la moyenne du score d'agressivité mesuré par le CAAS était d'environ 31 sur un score maximal possible de 60. Ce score est légèrement plus élevé que celui observé dans l'étude de Schmidt et al. qui était de 29,3 (2016). Il est intéressant de souligner que l'item pour lequel le niveau d'agressivité révélé est le plus élevé porte sur les erreurs perçues d'arbitrage. Il n'est donc pas surprenant que plus de 90% des arbitres au hockey soient victimes d'agressivité de la part des joueurs. De plus, 71% des arbitres sont d'accord que cette agressivité peut aussi mener à des blessures chez les joueurs eux-mêmes (Ackery et al., 2012).

Dans notre étude, aucune association significative n'a été identifiée entre le niveau d'agressivité des joueurs, tel que mesuré par le CAAS, et la fréquence, l'accélération linéaire, la vitesse rotationnelle ou le HIC des impacts à la tête. L'hypothèse que les joueurs plus agressifs adoptent un style de jeu ou une attitude qui les expose à des impacts plus fréquents et intenses n'a alors pas pu être confirmée. Ces résultats diffèrent de ceux trouvés par Schmidt et ses collaborateurs (2016). Ils ont trouvé que les joueurs moins agressifs recevaient des impacts avec accélération rotationnelle significativement moins intense durant les pratiques que durant les matchs comparativement aux joueurs plus agressifs. Bien que ce résultat indique un certain effet du niveau d'agressivité, il faut l'interpréter avec précaution puisque qu'il est déjà bien connu que les impacts sont beaucoup moins fréquents et moins intenses durant les pratiques que durant les matchs (Mihalik et al., 2012). Pour cette raison, notre étude n'a pas tenté d'enregistrer les impacts durant les pratiques. Par ailleurs, il est possible que l'utilisation d'un questionnaire d'agressivité développé à l'origine pour pouvoir être utilisé dans plusieurs sports ne soit pas suffisamment spécifique pour le hockey. À notre connaissance, il n'y a aucun questionnaire d'agressivité développé spécifiquement pour le hockey sur glace et il serait intéressant de voir si des résultats différents seraient obtenus avec un tel questionnaire plus spécifique. De plus, la nature auto-rapportée du questionnaire pourrait aussi expliquer en partie l'absence d'association avec les impacts. D'un côté, il est possible que les joueurs aient sur-estimé leur niveau d'agressivité puisque l'environnement au hockey encourage souvent une culture d'agressivité et de violence durant le jeu (Emery, McKay, Campbell, Peters, 2009). Une sous-estimation de l'agressivité est aussi possible si les joueurs ont une perception négative du concept et ont donc peut être peur d'être reconnus comme trop agressifs.

D'autres études ont tenté de déterminer l'efficacité des méthodes de réduction d'agressivité au hockey. Le « Fair Play Program » est une stratégie qui consiste à valoriser l'esprit sportif des équipes en attribuant des points supplémentaires lorsque les joueurs respectent les règlements et ne dépassent pas la limite de punitions par année. Ce programme s'est avéré efficace pour réduire le nombre et la sévérité des punitions ainsi que le nombre de blessures (Cusimano, Nastis et Zuccaro, 2013). Bien que notre étude n'ait pas identifié de lien entre le niveau d'agressivité des joueurs et les impacts à la tête au niveau de jeu joué, il se pourrait que cette association puisse être observée à d'autres niveaux.

Historique de commotions cérébrales

Cette étude était la première à étudier le lien possible entre l'historique de commotions cérébrales et les impacts à la tête au hockey. Nous avons trouvé que les joueurs ayant un plus grand nombre de commotions cérébrales antécédentes recevaient des impacts avec des valeurs maximales de vitesse rotationnelle plus grandes. C'est-à-dire que chaque commotion antécédente supplémentaire est associée à une augmentation $0,329\text{deg/sec}$ de l'accélération rotationnelle maximale. Ce résultat est très intéressant puisqu'il est en opposition à notre hypothèse qui stipulait que les joueurs ayant plus de commotions cérébrales antécédentes joueraient de manière plus prudente afin d'éviter des impacts de grande intensité et donc d'éviter d'autres commotions cérébrales. En fait, nos résultats suggèrent qu'au contraire, les joueurs avec un historique de commotions cérébrales plus important sont exposés à des situations provoquant des impacts avec grande force rotationnelle. Cette observation est d'autant plus importante lorsqu'on considère que les individus ayant déjà eu une commotion

ont une prédisposition les mettant trois fois plus à risque d'en subir une autre (Guskiewicz et al., 2003). Il est aussi possible que cette association observée dans notre étude soit sous-estimée puisque les athlètes ont tendance à sous-déclarer les commotions cérébrales. Les commotions cérébrales sont diagnostiquées presque entièrement en utilisant les symptômes décrits par le patient et non par des tests physiologiques précis, ce qui limite leur identification. Cependant, certaines études démontrent que la mesure auto-rapportée de l'historique de commotions cérébrales est fréquemment utilisée en recherche et que les athlètes déclarent souvent leurs commotions antérieures de manière fidèle (Wijtowitz et al., 2017). L'éducation des athlètes du secondaire concernant les commotions cérébrales contribue à l'augmentation des taux de déclaration de commotions cérébrales, ce qui veut dire que le diagnostic est en partie lié à la connaissance du problème (Kay, Welch et Valovich McLeod, 2015). En vue de nos résultats, il pourrait être important de cibler les joueurs avec un historique de commotions cérébrales pour réduire la force des impacts rotationnels à la tête, et possiblement les commotions cérébrales subséquentes. Il est aussi important de continuer à sensibiliser les entraîneurs, car les attitudes et les normes qu'ils évoquent contribuent à l'intention d'un joueur de déclarer une commotion cérébrale (Kay et al., 2015).

Limites de l'étude

D'abord, en raison du contexte de projet de maîtrise, la taille d'échantillon est l'une des grandes limites de cette étude. Deux équipes de hockey (23 joueurs) ont été suivies pendant 26 matchs de saison régulière, ce qui est considérablement plus petit que les échantillons retrouvés dans d'autres études de mesure des impacts. Idéalement, les prochaines études incluraient plus d'équipes et un suivi d'au moins une saison complète afin d'avoir une

meilleure puissance statistique et d'être en mesure d'identifier certaines associations qui n'ont pas été trouvées dans notre étude. Les pertes de suivi, dans ce cas les parties manquées à cause de blessures ou autres raisons, constituent aussi un enjeu potentiel à la validité des résultats. En ce qui concerne la mesure des variables indépendantes, les questionnaires (SPQ, CAAS) ont seulement été remplis une fois par les joueurs. Il est possible que les niveaux de CJS et d'agressivité des joueurs fluctuent dans le temps, ce qui n'a pas été capté dans notre étude. Par ailleurs, il y a aussi un risque de biais de diffusion et d'un biais d'attentes. Si les équipes adversaires étaient au courant de l'étude, il se peut qu'ils aient voulu frapper leur adversaire avec une plus grande force que d'habitude pour démontrer leur puissance et essayer de causer des enregistrements de forces plus élevées. Par contre, ils pourraient aussi frapper moins fort que d'habitude. De la même façon, les participants de l'étude pourraient sentir le besoin de modifier leur façon de jouer au hockey à cause de leur participation à l'étude, ce qui pourrait biaiser les résultats d'impacts. Une dernière limite importante de cette étude est la méthode de collecte des antécédents de commotions cérébrales chez les joueurs. Cette variable a été mesurée en demandant aux joueurs s'ils avaient un historique de commotions cérébrales. Il est possible que plusieurs commotions cérébrales n'aient pas été déclarées par les joueurs, car il est bien connu que les athlètes ont tendance à sous-déclarer des blessures. Les prochaines études devraient faire recours à un clinicien expert de la commotion cérébrale qui pourra recueillir ces informations de manière plus précise et valide.

Il existe aussi quelques menaces à la validité externe des résultats de l'étude. Premièrement, il est raisonnable de stipuler que les résultats seront généralisables à un échantillon semblable, c'est-à-dire de même niveau de jeu, même groupe d'âge, et même région. Puisqu'une seule autre étude a examiné des associations semblables entre les impacts

et le jeu sécuritaire et l'agressivité, une certaine prudence devrait être employée lors de la généralisation des résultats à d'autres régions, surtout où la culture et les règlements du hockey diffèrent.

Retombées

La mesure des forces d'impact permet d'obtenir des informations fondamentales au sujet du mécanisme sous-jacent des commotions cérébrales. De plus, en identifiant des variables qui pourraient prédire la fréquence et l'intensité des impacts chez les joueurs, nous sommes en mesure d'agir sur celles-ci afin de diminuer l'incidence des commotions cérébrales. En tenant en compte des résultats obtenus dans cette étude, il est fortement suggéré de continuer les efforts de prévention des commotions cérébrales en s'attaquant aux facteurs modifiables tels que la CJS et l'agressivité. De plus, ces résultats peuvent permettre de raffiner les programmes de sensibilisation auprès des joueurs avec un historique de commotions cérébrales important.

Pistes de recherche futures

Davantage d'études devraient examiner l'effet potentiel du jeu sécuritaire et de l'agressivité sur les forces d'impact, mais aussi sur l'incidence des commotions cérébrales directement. De plus, un effort considérable devrait être émis pour quantifier le lien direct entre l'intensité des forces d'impact et la survenue de commotions cérébrales. Ces études nécessiteront cependant beaucoup plus de temps, d'argent et de participants. Il serait par ailleurs utile d'étudier l'efficacité des interventions visant l'éducation et la sensibilisation par rapport au jeu sécuritaire et à l'agressivité comme moyen de prévention des commotions cérébrales.

Conclusion

La commotion cérébrale sportive est une problématique de santé publique affectant plusieurs milliers d'athlètes dans plusieurs différents sports. La majorité des études dans le domaine se focalisent principalement sur le diagnostic et la guérison et non sur la prévention des commotions cérébrales. L'utilisation d'accéléromètres est une méthode novatrice permettant de mesurer directement les forces infligées à la tête des athlètes et donc de quantifier le mécanisme causant la commotion cérébrale. Le hockey sur glace est parmi les sports avec la plus grande incidence de commotions cérébrales et les études mesurant les forces d'impact au hockey ont surtout examiné des facteurs non modifiables qui pourraient être associés aux impacts. Dans notre étude auprès de 23 joueurs de hockey scolaire adolescent, nous avons comme objectif de déterminer dans quelle mesure la fréquence et l'intensité des impacts à la tête sont associés à la connaissance du jeu sécuritaire, l'agressivité et l'historique de commotion cérébrale des joueurs. Notre résultat principal était que les joueurs ayant un historique de commotion cérébrale plus important recevaient des impacts avec accélération rotationnelle maximale plus grande. Nous avons aussi observé une tendance négative entre la connaissance du jeu sécuritaire et le « Head Injury Criterion ». En raison des limites de cette étude, telles que la taille d'échantillon, les résultats devraient être interprétés avec précaution. Nous suggérons tout de même une continuité dans la recherche au niveau des impacts à la tête au hockey ainsi que l'amélioration des stratégies de prévention des commotions cérébrales.

Bibliographie

- Ackery, A., Tator, C., Snider, C. (2012). Violence in Canadian Amateur Hockey: The Experience of Referees in Ontario. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 22(2), 86-90.
- Agel, J., & Harvey, E. J. (2010). A 7-year review of men's and women's ice hockey injuries in the NCAA. *Canadian Journal of Surgery*, 53(5), 319–323.
- Allison, M. A., Kang, Y. S., Bolte, J. H., Maltese, M. R., & Arbogast, K. B. (2014). Validation of a helmet-based system to measure head impact biomechanics in ice hockey. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(1), 115-123. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182a32d0d>
- Allison, M. A., Kang, Y. S., Maltese, M. R., Bolte, J. H., & Arbogast, K. B. (2015). Measurement of Hybrid III Head Impact Kinematics Using an Accelerometer and Gyroscope System in Ice Hockey Helmets. *Annals of Biomedical Engineering*, 43(8), 1896-1906. <https://doi.org/10.1007/s10439-014-1197-z>
- Baillargeon, A., Lassonde, M., Leclerc, S., & Ellemberg, D. (2012). Neuropsychological and neurophysiological assessment of sport concussion in children, adolescents and adults. *Brain Injury*, 26(3), 211–220. <https://doi.org/10.3109/02699052.2012.654590>
- Beckwith J. G., Greenwald R. M., Chu J. J. (2012). Severity and frequency of head impacts sustained by football players on days of diagnosed concussion diagnosis. *Brain Injury*. 26(4-5):728–729.
- Brainard, L. L., Beckwith, J. G., Chu, J. J., Crisco, J. J., McAllister, T. W., Duhaime, A.-C., ... Greenwald, R. M. (2012). Gender differences in head impacts sustained by collegiate ice hockey players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(2), 297-304. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31822b0ab4>
- Comité de travail sur la mise en échec de Hockey Québec. (2011). Programme d'éducation et d'enseignement de la mise en échec. *Hockey Québec*. Récupéré à [http://www.hockeywestisland.org/downloads/Contact%20Physique%20Peewee%20Double%20Lettre\[1\].pdf](http://www.hockeywestisland.org/downloads/Contact%20Physique%20Peewee%20Double%20Lettre[1].pdf)

- Crisco J. J., Chu J. J., Greenwald R. M. (2005). An approach to calculating linear head accelerations is not affected by rotational head accelerations. Proceedings of the 20th Congress of the International Society of Biomechanics; Cleveland, Ohio, USA
- Cusimano, M. D., Nastis, S., & Zuccaro, L. (2013). Effectiveness of interventions to reduce aggression and injuries among ice hockey players: a systematic review. *CMAJ: Canadian Medical Association Journal*, 185(1), E57–E69. <http://doi.org/10.1503/cmaj.112017>
- Durand, L., Ellemberg, D., Fait, P., Frémont, P., Mongrain, L., & Proulx, M. (2015). Rapport du Groupe de travail sur les commotions cérébrales qui surviennent dans le cadre de la pratique d'activités récréatives et sportives. Consulté 22 janvier 2017, à l'adresse <http://www.education.gouv.qc.ca/references/publications/resultats-de-la-recherche/detail/article/rapport-du-groupe-de-travail-sur-les-commotions-cerebrales-qui-surviennent-dans-le-cadre-de-la-pra/>
- Elliott, M. R., Margulies, S. S., Maltese, M. R., & Arbogast, K. B. (2015). Accounting for sampling variability, injury under-reporting, and sensor error in concussion injury risk curves. *Journal of Biomechanics*, 48(12), 3059-3065. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.07.026>
- Echlin, P. S., E. N. Skopelja, R. Worsley, S. B. Dadachanji, D. R. Lloyd-Smith, J. A. Taunton et A. M. Johnson (2012). « A prospective study of physician-observed concussion during a varsity university ice hockey season: incidence and neuropsychological changes. Part 2 of 4 », *Neurosurgery Focus*, vol. 33, no 6, E2, p. 1-11. DOI : 10.3171/2012.10.FOCUS12286.
- Emery, CA., Black AM, Kolstad A, *et al.* (2017). What strategies can be used to effectively reduce the risk of concussion in sport? A systematic review. *British Journal of Sports Medicine* 2017;51:978-984.
- Emery, C. A., Kang, J., Shrier, I., Goulet, C., Hagel, B. E., Benson, B. W., ... Meeuwisse, W. H. (2010). Risk of Injury Associated With Body Checking Among Youth Ice Hockey Players. *JAMA*, 303(22), 2265–2272. <https://doi.org/10.1001/jama.2010.755>

- Emery, CA., McKay, CA., Campbell TS., Peters, AN. (2009). Examining Attitudes Toward Body Checking, Levels of Emotional Empathy, and Levels of Aggression in Body Checking and Non-Body Checking Youth Hockey Leagues. *Clinical Journal of Sports Medicine*. 19(3), 207-215.
- Emery, CA., et Meeuwisse W. (2006). Injury Rates, Risk Factors, and Mechanisms of Injury in Minor Hockey. *The American Journal of Sports Medicine*. Vol 34, Issue 12, pp. 1960 – 1969. <https://doi.org/10.1177%2F0363546506290061>
- Gagné, M. (2012). Évolution des hospitalisations attribuables aux traumatismes craniocérébraux d'origine non intentionnelle au Québec – Rapport, Montréal, Institut national de santé publique du Québec.
- Guskiewicz, K. M., McCrea, M., Marshall, S. W., Cantu, R. C., Randolph, C., Barr, W., ... Kelly, J. P. (2003). Cumulative effects associated with recurrent concussion in collegiate football players: the NCAA Concussion Study. *JAMA*, 290(19), 2549–2555. <https://doi.org/10.1001/jama.290.19.254>
- Guskiewicz, K. M., & Mihalik, J. P. (2011). Biomechanics of Sport Concussion: Quest for the Elusive Injury Threshold. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 39(1), 4-11. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e318201f53e>
- J.t, Eckner., S.p, B., J.s, K., & J.a, A.-M. (2013). Use of a novel impact-sensing technology to compare head impact exposure between male and female high school ice hockey athletes: A pilot observational study. *PM and R*. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2013.08.022>
- Kay, MC., Welch, CE., Valovich Mcleod, TC. (2015). Positive and Negative Factors That Influence Concussion Reporting Among Secondary School Athletes. *Journal of Sports Rehabilitation*. 24(2), 210-213.
- Maxwell, J. P. (2004). Anger rumination: an antecedent of athlete aggression? *Psychology of Sport and Exercise*, 5(3), 279–289. [https://doi.org/10.1016/S1469-0292\(03\)00007-4](https://doi.org/10.1016/S1469-0292(03)00007-4)
- Maxwell, J. P., & Moores, E. (2007). The development of a short scale measuring aggressiveness and anger in competitive athletes. *Psychology of Sport and Exercise*, 8(2), 179–193. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2006.03.002>

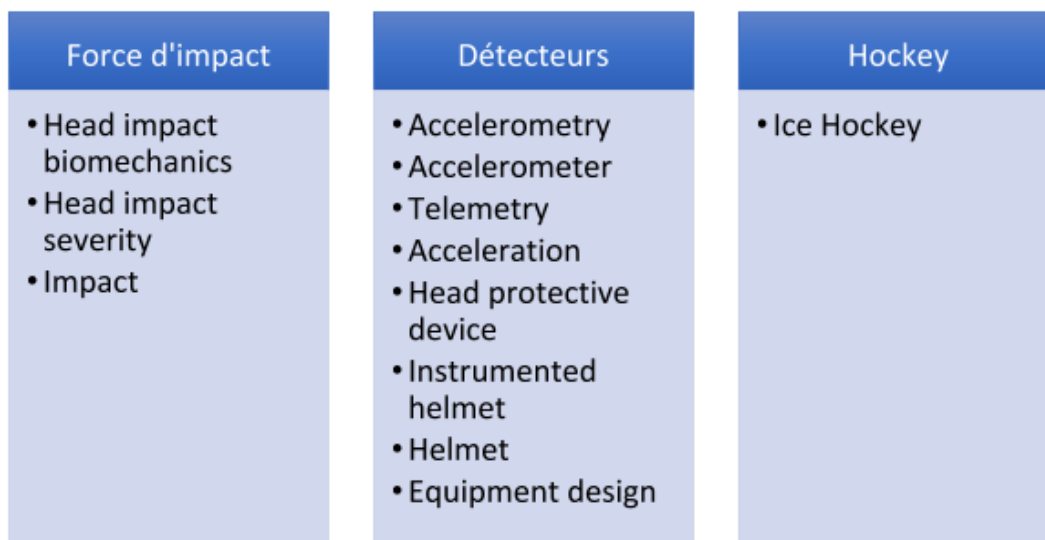
- McCrorry P, Meeuwisse W, Dvorak J, *et al.* (2017) Consensus statement on concussion in sport—the 5th international conference on concussion in sport held in Berlin, October 2016. *British Journal of Sports Medicine*. doi: 10.1136/bjsports-2017-097699
- Mihalik, J. P., Blackburn, J. T., Greenwald, R. M., Cantu, R. C., Marshall, S. W., & Guskiewicz, K. M. (2010). Collision type and player anticipation affect head impact severity among youth ice hockey players. *Pediatrics*, *125*(6), e1394-1401. <https://doi.org/10.1542/peds.2009-2849>
- Mihalik, J. P., Greenwald, R. M., Blackburn, J. T., Cantu, R. C., Marshall, S. W., & Guskiewicz, K. M. (2010). Effect of infraction type on head impact severity in youth ice hockey. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *42*(8), 1431-1438. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181d2521a>
- Mihalik, J. P., Guskiewicz, K. M., Jeffries, J. A., Greenwald, R. M., & Marshall, S. W. (2008). Characteristics of head impacts sustained by youth ice hockey players. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part P-Journal of Sports Engineering and Technology*, *222*(P1), 45-52. <https://doi.org/10.1243/17543371JSET4>
- Mihalik, J. P., Guskiewicz, K. M., Marshall, S. W., Blackburn, J. T., Cantu, R. C., & Greenwald, R. M. (2012). Head impact biomechanics in youth hockey: comparisons across playing position, event types, and impact locations. *Annals of Biomedical Engineering*, *40*(1), 141-149. <https://doi.org/10.1007/s10439-011-0405-3>
- Mihalik, J. P., Guskiewicz, K. M., Marshall, S. W., Greenwald, R. M., Blackburn, J. T., & Cantu, R. C. (2011). Does cervical muscle strength in youth ice hockey players affect head impact biomechanics? *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, *21*(5), 416-421. <https://doi.org/10.1097/JSM.0B013E31822C8A5C>
- Morgan, CD., Zuckerman, SL., Lee, YM., King, L., Beaird, AK., Solomon, GS. (2015). Predictors of postconcussion syndrome after sports-related concussion in young athletes: a matched case-control study. *Journal of Neurosurgery. Pediatrics*, *15*(6):589-98. doi: 10.3171/2014.10.PEDS1435

- Morrish, J. et Carey, S. (2013). Concussions in Canada. Canada Injury Compass, Spring 2013. Parachute: Toronto, ON
- Patton, D. A. (2016). A Review of Instrumented Equipment to Investigate Head Impacts in Sport. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2016, e7049743. <https://doi.org/10.1155/2016/7049743>
- Pfister, T., Pfister, K., Hagel, B., Ghali, W. A., & Ronksley, P. E. (2016). The incidence of concussion in youth sports: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 292-297. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094978>
- Reed, N., Taha, T., Keightley, M., Duggan, C., McAuliffe, J., Cubos, J., ... Montelpare, W. (2010). Measurement of head impacts in youth ice hockey players. *International Journal of Sports Medicine*, 31(11), 826-833. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1263103>
- Ruhe, A., Gänsölen, A. et Klein, W. (2014). The incidence of concussion in professional and collegiate ice hockey: are we making progress? A systematic review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*. 2014;48:102-106.
- Schmidt, J. D., Pierce, A. F., Guskiewicz, K. M., Register-Mihalik, J. K., Pamukoff, D. N., & Mihalik, J. P. (2016). Safe-Play Knowledge, Aggression, and Head-Impact Biomechanics in Adolescent Ice Hockey Players. *Journal of Athletic Training*, 51(5), 366-372. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.5.04>
- Swaine, B.R., Tremblay C., Platt R., Grimard G., Zhang X., Pless I.B. (2007). Previous head injury is a risk factor for subsequent head injury in children: Longitudinal cohort study, *Pediatrics*, 119(4):749-758.
- Wasserman, E. B., Kerr, Z. Y., Zuckerman, S. L., & Covassin, T. (2016). Epidemiology of Sports-Related Concussions in National Collegiate Athletic Association Athletes From 2009-2010 to 2013-2014: Symptom Prevalence, Symptom Resolution Time, and Return-to-Play Time. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(1), 226–233. <https://doi.org/10.1177/0363546515610537>

- Wilmoth, K., LoBue, C., Clem, M. A., Reddy, R., Hynan, L. S., Didehbani, N., ... Cullum, C. M. (2017). Consistency of traumatic brain injury reporting in older adults with and without cognitive impairment. *The Clinical Neuropsychologist*, 32(3), 524–529. <https://doi.org/10.1080/13854046.2017.1378371>
- Wilcox, B. J., Beckwith, J. G., Greenwald, R. M., Chu, J. J., McAllister, T. W., Flashman, L. A., ... Crisco, J. J. (2014). Head impact exposure in male and female collegiate ice hockey players. *Journal of Biomechanics*, 47(1), 109-114. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.10.004>
- Wilcox, B. J., Beckwith, J. G., Greenwald, R. M., Raukar, N. P., Chu, J. J., McAllister, T. W., ... Crisco, J. J. (2015). Biomechanics of head impacts associated with diagnosed concussion in female collegiate ice hockey players. *Journal of Biomechanics*, 48(10), 2201-2204. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.04.005>
- Wilcox, B. J., Machan, J. T., Beckwith, J. G., Greenwald, R. M., Burmeister, E., & Crisco, J. J. (2014). Head-impact mechanisms in men's and women's collegiate ice hockey. *Journal of Athletic Training*, 49(4), 514-520. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.3.19>
- Williamson, I. J. et Goodman, D. (2006). « Converging evidence for the under-reporting of concussions in youth ice hockey », *British Journal of Sports Medicine*, vol. 40, no 2, p. 128-132. doi : 10.1136/bjism.2005.021832.
- Wojtowicz, M., Iverson, G. L., Silverberg, N. D., Mannix, R., Zafonte, R., Maxwell, B., & Berkner, P. D. (2017). Consistency of Self-Reported Concussion History in Adolescent Athletes. *Journal of Neurotrauma*, 34(2), 322–327. <https://doi.org/10.1089/neu.2016.4412>
- Zhang, L., Yang, K. H., & King, A. I. (2004). A proposed injury threshold for mild traumatic brain injury. *Journal of Biomechanical Engineering*, 126(2), 226–236.
- Zuckerman, S. L., Kerr, Z. Y., Yengo-Kahn, A., Wasserman, E., Covassin, T., & Solomon, G. S. (2015). Epidemiology of Sports-Related Concussion in NCAA Athletes From 2009-2010 to 2013-2014: Incidence, Recurrence, and Mechanisms. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(11), 2654–2662. <https://doi.org/10.1177/0363546515599634>

Annexe 1 – Stratégie de recherche

Concepts



Équations de recherche et résultats par base de données

Pubmed (MEDLINE): n=25

((((((("Head Protective Devices"[Mesh]) OR "Accelerometry"[Mesh]) OR "Acceleration"[Mesh]) OR "Telemetry"[Mesh]) OR "Equipment Design"[Mesh])) OR helmet*[Title/Abstract])) AND (("Hockey"[Mesh]) OR hockey[Title/Abstract])) AND head impact*[Title/Abstract]

Embase: n=20

#	Searches	Results
1	helmet/	5039
2	protective equipment/	11924
3	accelerometer/	8897
4	accelerometry/	4604
5	telemetry/	16127
6	acceleration/	27745
7	1 or 2 or 3 or 4 or 5 or 6	69829
8	head impact*.mp. [mp=title, abstract, heading word, drug trade name, original title, device manufacturer, drug manufacturer, device trade name, keyword, floating subheading]	756
9	ice hockey/ or hockey player/	853
10	7 and 8 and 9	20

Sportdiscus (pas de thesaurus alors seulement mots-clés) : n=15

(AB (Accelerometry OR Accelerometer* OR Telemetry OR Acceleration OR "Head protective device" OR "Instrumented helmet" OR Helmet* OR "Equipment design") AND AB head impact*) AND hockey

Web of Science : n=67

TOPIC: (Accelerometry OR Accelerometer* OR Telemetry OR Acceleration OR "Head protective device" OR "Instrumented helmet" OR Helmet* OR "Equipment design") *AND* **TOPIC:** (head impact*) *AND* **TOPIC:** (hockey)

Annexe 2– Tableau sommaire des études antérieures

Article	Population	Variabiles/mesures	Résultats
Safe-play knowledge, aggression, and Head-Impact Biomechanics in Adolescent Ice Hockey Players (Schmidt et al., 2016)	♂: 14 U18AAA; 15 U14AAA ♀: 12 U16 Équipes américaines	-connaissances jeu sécuritaire: safe-play questionnaire - agressivité : CAAS, #infractions agressives - VD : fréquence et intensité des impacts à la tête (HIT)	-♂ meilleur safe-play knowledge que ♀ -♂18 + que ♀ U16 mais ♀ U16 + que ♂U14 - niveau d'agression le même -pas d'association entre le niveau de safe-play/agression sur les impacts à la tête
Biomechanics of Head Impacts Associated with Diagnosed Concussion in Female Collegiate Ice Hockey Players (Wilcox et al., 2015)	Suivi 3 ans 58 femmes 2 programmes NCAA	-HITs pour force d'impact durant pratiques et matchs -commotions : « alteration in mental status resulting from blow to the head » -date, temps, symptômes -analyse de l'impact qui a causé la blessure ET analyse cumulative de tous les impacts durant le match	-9 commotions diagnostiquées -différences significatives de la fréquence et l'intensité des forces les jours avec commotions vs. sans
Head Impact Mechanisms in Men and Woman's Collegiate Ice Hockey (Wilcox et al., 2014)	♂: 23- 1 saison ♀: 31 (18-24 ans) pour 3 saisons collège américain	-HITs pour forces d'impact - 20g threshold (moyenne des impacts mais quand même en dessous du risque de commotions) -mécanisme d'impact : avec un joueur, glace, bande, rondelle, but, bâton, contact indirect (Ex. torso), résultat de célébration	-50% des contacts étaient avec un autre joueur -avec la bande : 30% hommes; 17% femmes - fréquence des contacts à la tête direct par autre joueur : - H : 0.464/game - F : 0.208/game (p<0,001) - fréquence des contacts à la tête sur la bande : - H : 0.349 - F : 0.095 (p<0,001) - pour tous les mécanismes d'impact, l'accélération rotationnelle et le HITsp sont significativement plus haut chez les garçons - Femmes : acc. Linéaire ++ glace et acc. Rota. ++ autre joueur

Head Impact Exposure in Male and Female Collegiate Ice Hockey (Wilcox et al., 2014)	H: 41 : 25 attaquants 16 défenseurs F: 58: 37 attaquants 21 défenseurs Semble être la même cohorte que l'étude précédente.	HITs : six accéléromètres collés sur le « foam » des casques; collecte les données à 1kHz avec timestamps; données transmises par radiofréquence à un ordinateur à proximité VD : fréquence (par match, pratique, saison, magnitude (acc linéaire, rota, et HITsp) et endroit de l'impact VI : sexe, position, pratiques vs. match	-Hommes reçoivent significativement plus d'impacts à la tête par match et pratique -pas de différences significatives entre positions -la magnitude des impacts est plus grande chez les hommes pour accélération rotationnelle et HITsp, mais non significative pour linéaire **pas d'augmentation significative de la magnitude des impacts durant les parties -contact avec l'arrière du casque : ++acc linéaire -contact avec côté du casque : ++acc rota
Head impact biomechanics in youth hockey: comparisons across playing position, event types, and impact locations (Mihalik et al., 2012)	52 joueurs de hockey américains ages 13-16ans niveau AAA	-Système HIT : accélération linéaire, rotationnelle et Head Impact Severity Profile (10g threshold) -Vis : caractéristiques du joueur : position, pratique vs. match, endroit d'impact sur la tête	-pas d'association significative entre la position du joueur et la fréquence/sévérité des impacts -matches : significativement plus d'impact et d'impacts plus sévères que pratiques -dessus de la tête ++ force linéaire -côté de la tête ++ force rotationnelle
Gender Differences in Head Impacts Sustained by Collegiate Ice Hockey Players (Brainard et al., 2012)	Suivi 2 saisons: 51 femmes et 37 hommes	-HITs : accélération linéaire, rotationnelle et HITsp -Fréquence, magnitude et endroit d'impact	-Femmes reçoivent significativement moins d'impacts à la tête par temps d'exposition que les hommes -Hommes plus à risque de recevoir un impact dépassant 100g
Does Cervical Muscle Strength in Youth Ice Hockey Players Affect Head Impact Biomechanics? (Mihalik et al., 2011)	Cohorte prospective -37 garçons 15-16 a.	VD : HITs VI : force musculaire cervicale mesurée par des dynamomètres isométriques	-pas d'association significative entre la force cervicale et les forces d'impact, ce qui va à l'encontre des hypothèses et théories
Measurement of Head Impacts in Youth Ice Hockey Players (Reed et al., 2010)	-14 garçons de niveau Bantam élite (13-14 ans) -Toronto -27 matchs	-HITs : accélération linéaire, rotationnelle, HITsp -GAD severity index (GSI) -Head Injury Criterion (HIC) -10g threshold -Vis:caractéristiques de joueur(grandeur, poids, BMI,	-significativement plus grande fréquence d'impact chez les joueurs ailiers que les centres ou défenseurs -significativement plus grande fréquence d'impact durant les tournois

		position), situation de match (saison, tournois, playoffs)	-différences significatives pour forces d'accélération rotationnelle entre positions
Effect of Infraction Type on Head Impact Severity (Mihalik et al., 2010)	16 garçons Bantam AAA (14 ans) 54 matchs et 38 pratiques	HITs VI : type d'infraction : boarding, charging, charging from behind, elbowing, intentional head contact- décris avec analyse vidéo	-des infractions ont été observées dans 17% des collisions -globalement, les collisions avec infractions avaient des forces linéaires et HITsp significativement plus élevées que celles sans infraction -elbowing, head contact and high sticking yielded significantly higher linear and HITsp force.
Collision Type and Player Anticipation Affect Head Impact Severity Among Youth Ice Hockey Players (Mihalik et al., 2010)	16 garçons Bantam AAA (14 ans) 54 matchs et 38 pratiques	-HITs -Vis: -type de collision: « open-ice » ou contre la bande -niveau d'anticipation: « good anticipation » « poor anticipation » ou « unanticipated » mesuré avec un checklist de 11 items rempli pour chaque collision en regardant la vidéo	-collisions « open-ice » associées avec une plus grande accélération linéaire et rotationnelle relativement aux collisions sur la bande -tendance vers des forces d'impact réduites pour les collisions anticipées (non significatif)-surtout pour les impacts de force moyenne
Characteristics of head impacts sustained by youth ice hockey players (Mihalik et al., 2008)	-14 garçons de 13 ans (sans historique de commotions) -58 matchs et 51 pratiques	VD: SEULEMENT accélération linéaire mesurée par système HIT Vis : pratique vs. match, position du joueur, endroit d'impact à la tête	-forces d'impact significativement plus grandes durant les matchs -forces d'impact sur le dessus de la tête significativement plus grand que ceux sur les côtés ou l'arrière

Annexe 3 – Calcul de taille d'échantillon

$$n = \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)(z_{1-\alpha} + z_{1-\beta})^2}{\Delta^2}$$

où

σ_1 est l'écart-type d'accélération rotationnelle du groupe « niveau d'agressivité élevé » et σ_2 est l'écart-type d'accélération rotationnelle du groupe « niveau d'agressivité bas ».

et

Δ est la différence d'accélération rotationnelle à observer entre les deux groupes.

Selon les résultats de Schmidt et al., 2016, nous avons :

$$n = \frac{(6539.5 + 5204.6)(1.96 + 0.84)^2}{26320.25}$$
$$n = 14.6$$

Annexe 4 – Spécifications du GForceTracker

Poids : 1 once

Dimensions : 1 x 2 x 0,5 pouces

Batterie : 10 heures de temps d'utilisation

Mémoire interne : 27 000 impacts

Mesure d'accélération linéaire (g) : 3kHz

Mesure de vitesse rotationnelle (deg/sec) : 760 Hz

Annexe 5- Questionnaire du jeu sécuritaire

Safe-play questionnaire (Schmidt et al., 2016)

1. A player can help protect himself/herself in hockey by _____.
 - Being the best skater he/she can be
 - Staying alert at all times
 - Not watching the puck when he/she skates
 - All of the above
 - I don't know
2. The “danger zone” for injuries in hockey is _____.
 - In front of the net
 - 3-4 feet from the boards
 - beside the player who has the puck
 - I don't know
3. To help keep himself/herself safe, a player should approach the boards _____.
 - At an angle
 - Straight on
 - Quickly
 - I don't know
4. All of the following are examples of unsafe play, EXCEPT _____.
 - Hitting an opponent from behind
 - Criticizing the game official
 - Purposefully clearing the puck into the opposing team's bench
 - Slashing
 - I don't know
5. The purpose of body checking is to separate the puck carrier from the puck.
 - True
 - False
 - I don't know
6. To deliver a check, it will be most effective and safest for you to do all of the following EXCEPT _____.
 - Keep your feet parallel to the boards
 - Lead with your head
 - Have your knees bent and back straight
 - Keep a lower center of gravity
 - Go into the hit at an angle
 - I don't know
7. You can be better prepared to take a hit by doing all of the following EXCEPT _____.
 - Keeping your hands on your stick
 - Keeping your knees straight
 - Knowing where your opponents are
 - Keeping your head away
 - I don't know

Version traduite

1- Questionnaire du jeu sécuritaire. Cochez la meilleure réponse.

1. Au hockey, un joueur peut se protéger en _____.
 - Étant le meilleur patineur possible
 - Restant vigilant en tout temps
 - Évitant de regarder la rondelle lorsqu'il patine
 - Toutes les réponses ci-dessus
 - Je ne sais pas
2. Au hockey, la « zone de danger » pour les blessures se trouve _____.
 - Devant le filet
 - À 3-4 pieds de la bande
 - À côté du joueur qui a la rondelle
 - Je ne sais pas
3. Pour assurer sa protection, le joueur doit venir vers la bande _____.
 - De biais
 - De face
 - Rapidement
 - Je ne sais pas
4. Toutes les propositions suivantes sont des exemples de jeu dangereux, SAUF _____.
 - Frapper un adversaire par-derrière
 - Critiquer l'arbitre du match
 - Dégager délibérément la rondelle dans le banc des joueurs adverses
 - Cingler (Slashing)
 - Je ne sais pas
5. Le but des mises en échec est d'enlever la rondelle au porteur.
 - Vrai
 - Faux
 - Je ne sais pas
6. Le plus efficace et sécuritaire pour effectuer une mise en échec est de faire tout ce qui suit SAUF _____.
 - Garder vos pieds parallèles à la bande
 - Diriger le mouvement avec la tête
 - Garder les genoux fléchis et le dos droit
 - Garder un centre de gravité plus bas
 - Frapper de biais
 - Je ne sais pas
7. Vous serez mieux préparé à recevoir un coup si vous suivez les recommandations suivantes SAUF _____.
 - Garder vos mains sur le bâton de hockey
 - Garder vos genoux droits
 - Savoir où se trouvent vos adversaires
 - Protéger votre tête

- o Je ne sais pas

As-tu déjà eu une commotion cérébrale? Si oui, combien?

Annexe 6– Questionnaire d’agressivité

Competitive Aggressiveness and Anger Scale (CAAS) Maxwell and Moores, 2007

Please answer each statement as it best applies to you during a typical game.

(1 = almost never; 2 = occasionally; 3 = sometimes; 4 = quite often; 5 = almost always)

I become irritable if I am disadvantaged during a match.

1 2 3 4 5

I feel bitter towards my opponent if I lose.

1 2 3 4 5

I get mad when I lose points.

1 2 3 4 5

I show my irritation when frustrated during a game.

1 2 3 4 5

I find it difficult to control my temper during a match.

1 2 3 4 5

Official’s mistakes make me angry.

1 2 3 4 5

Violent behavior, directed towards an opponent, is acceptable.

1 2 3 4 5

It is acceptable to use illegal physical force to gain an advantage.

1 2 3 4 5

I taunt my opponents to make them lose concentration.

1 2 3 4 5

I use excessive force to gain an advantage.

1 2 3 4 5

I verbally insult opponents to distract them.

1 2 3 4 5

Opponents accept a certain degree of abuse.

1 2 3 4 5

Version traduite

2- Échelle de la colère et de l'agressivité compétitive

Veillez répondre à chaque affirmation selon ce qui correspond le mieux à votre situation lors d'un match régulier.

(1 = Presque jamais ; 2 = occasionnellement ; 3 = parfois ; 4 = souvent ; 5 = presque toujours)

Je deviens irritable si je n'ai pas l'avantage pendant un match.

1 2 3 4 5

Si je perds, je ressens de la haine envers mes adversaires.

1 2 3 4 5

Je m'énerve quand je perds des points.

1 2 3 4 5

Lorsque je suis contrarié pendant un match, je montre mon énervement.

1 2 3 4 5

J'ai de la difficulté à garder mon sang-froid pendant un match.

1 2 3 4 5

Les erreurs d'arbitrage m'énervent.

1 2 3 4 5

Un comportement violent envers un adversaire est acceptable.

1 2 3 4 5

L'utilisation illégale de la force physique pour prendre l'avantage est acceptable.

1 2 3 4 5

Je provoque mes adversaires pour les déconcentrer.

1 2 3 4 5

J'utilise une force excessive pour avoir l'avantage.

1 2 3 4 5

J'insulte verbalement mes adversaires pour les déconcentrer.

1 2 3 4 5

Mes adversaires tolèrent un certain niveau de violence.

1 2 3 4 5

Annexe 7– Questionnaire d’information du participant

Nom, Prénom : _____

Date de naissance : _____

Grandeur : _____

Poids : _____

Position: _____

Numéro de chandail : _____

Annexe 8– Image GForceTracker



Annexe 9– Documents comité d'éthique



Comité d'éthique de la recherche du CHUM
Pavillon R, 900 rue St-Denis, 3^e étage
Montréal (Québec) H2X 0A9

Le 18 juillet 2017

Docteur Yan Kestens
Axe de recherche : risques à la santé

a/s : M. Martin Chevrier
courriel : martin.chevrier.1@umontreal.ca

Objet :	17.109 – Approbation FINALE CÉR
	La quantification des forces d'impact à la tête des joueurs de hockey adolescent québécois: L'effet du jeu sécuritaire, de l'agressivité et de l'historique de commotions cérébrales.

Docteur,

Nous accusons réception des précisions et corrections demandées ainsi que des documents suivants en vue de l'approbation finale du projet mentionné en rubrique :

- formulaire d'information et de consentement français modifié – principal - version du 18 juillet 2017
- formulaire 20 complété

Le tout étant jugé satisfaisant, vous retrouverez dans Nagano section "Fichiers - FIC - version approuvé CÉR CHUM (pdf)" une copie du formulaire de consentement portant l'estampille d'approbation du comité. Seule cette version finale devra être utilisée pour signature par les participants à la recherche.

La présente constitue l'approbation finale, **valide pour un an à compter du 18 juillet 2017**. Vous devrez compléter le formulaire de renouvellement que nous vous ferons parvenir annuellement. De même, vous devrez soumettre pour approbation préalable, toute demande de modification ou document de suivi requis par le comité d'éthique conformément à ses Statuts et Règlements et ce via Nagano.

Veillez noter que le projet de recherche ne pourra débuter avant que vous n'ayez reçu la lettre de la personne mandatée pour autoriser cette recherche dans les murs de l'établissement. De même, lorsque cela s'applique à votre situation, le projet ne peut débuter tant que le contrat n'est pas finalisé et dûment signé et il ne peut également débuter avant d'avoir fait parvenir la lettre de non objection (LNO - NOL) de Santé Canada pour ce projet au CÉR du CHUM.

Le comité d'éthique du CHUM est désigné par le gouvernement du Québec (MSSS) et adhère aux règles de constitution et de fonctionnement de l'Énoncé de Politique des trois Conseils (ÉPTC 2) et des Bonnes pratiques cliniques de la CIH.

Attestation du CÉR (REBA)

La composition du comité d'éthique de la recherche du CHUM est conforme aux exigences réglementaires de la partie C, Division 5 du Food and Drug regulations de Santé Canada ;
Le comité exerce ses fonctions conformément aux exigences des Bonnes pratiques cliniques ;
Le comité d'éthique de la recherche du CHUM a révisé et approuvé le protocole et le formulaire d'information et de consentement pour l'essai clinique mentionné en titre, qui sera réalisé au CHUM par l'investigateur qualifié nommé ci-haut. Cette approbation et les exigences du comité d'éthique ont été documentées par écrit.

Pour toute question relative à cette correspondance, veuillez communiquer avec la personne soussignée via NAGANO, ou avec le secrétariat du comité par téléphone ou courriel: ethique.recherche.chum@ssss.gouv.qc.ca - 514 890-8000, poste 14485, ou consulter le fichier «Questions-réponses» au bas de la page d'accueil Nagano.

Vous souhaitant la meilleure des chances dans la poursuite de vos travaux, nous vous prions d'accepter, Docteur, nos salutations distinguées.

Me Marie-Josée Bernardi, avocate
Présidente intérimaire
Comité d'éthique de la recherche du CHUM



Le 2 août 2017

Docteur Yan Kestens
Axe de recherche: Carrefour de l'Innovation et de l'Évaluation en Santé
CHUM – Pavillon S
850, rue Saint-Denis
Port S02-340
Montréal (Québec) H2X 0A9

a/s: Monsieur Martin Chevrier
courriel: martin.chevrier.1@umontreal.ca

Objet:	Autorisation de réaliser la recherche suivante:
	Titre du projet : La quantification des forces d'impact à la tête des joueurs de hockey adolescent québécois: L'effet du jeu sécuritaire, de l'agressivité et de l'historique de commotions cérébrales. Numéro CÉR CHUM : 17.109

Cher Docteur Kestens,

Il me fait plaisir de vous autoriser à réaliser la recherche identifiée en titre au CHUM et/ou sous ses auspices.

Cette autorisation vous est accordée sur la foi des documents que vous avez déposés auprès de notre établissement, notamment la lettre du Comité d'éthique de la recherche (« CÉR ») du CHUM portant la date du 18 juillet 2017, qui agit à titre de CÉR évaluateur, qui établit que votre projet de recherche a fait l'objet d'un examen scientifique et d'un examen éthique dont le résultat est positif et qui a approuvé la version réseau du formulaire de consentement en français utilisé pour cette recherche.

Si le CÉR évaluateur vous informe pendant le déroulement de cette recherche d'une décision négative portant sur l'acceptabilité éthique de cette recherche, vous devrez considérer que la présente autorisation de réaliser la recherche dans notre établissement et/ou sous ses auspices est, de ce fait, révoquée à la date que porte l'avis du CÉR évaluateur.

Votre projet de recherche a aussi reçu une évaluation positive de tous les autres éléments de la convenance au sein de notre établissement.

Cette autorisation de réaliser la recherche suppose également que vous vous engagez à :

1. utiliser la version des documents se rapportant à la recherche approuvée par le CÉR évaluateur, les seuls changements apportés, si c'est le cas, étant d'ordre administratif et identifiés de façon à ce que le CÉR évaluateur puisse en prendre connaissance;

Direction de la recherche
CHUM - Pavillon R
900, rue St-Denis, R05-406
Montréal (Québec) H2X 0A9

2. vous conformer aux demandes du CÉR évaluateur, notamment pour le suivi éthique continu de la recherche ainsi que pour lui rendre compte du déroulement du projet et des actes de votre équipe de recherche ainsi que du respect des règles de l'éthique de la recherche;
3. conserver les dossiers de recherche pendant la période fixée par le CÉR évaluateur après la fin du projet, selon les règles de conservation de l'établissement, afin de permettre leur éventuelle vérification;
4. respecter le cadre réglementaire de l'établissement, notamment, s'il y a lieu, les modalités arrêtées au regard du mécanisme d'identification des participants à la recherche dans notre établissement, à savoir, la tenue à jour et la conservation de la liste à jour des participants de recherche recrutés sous les auspices de notre établissement. Cette liste devra nous être fournie sur demande.

L'autorisation qui vous est donnée ici de réaliser la recherche sous les auspices de notre établissement sera renouvelée sans autre procédure à la date indiquée par le CÉR évaluateur dans sa décision de renouveler son approbation éthique de cette recherche.

La présente autorisation peut être suspendue ou révoquée par le CHUM en cas de non-respect des conditions établies lors de notre examen de la convenance. Le CÉR évaluateur en sera alors informé.

Vous consentez également à ce que le CHUM communique aux autorités compétentes des renseignements personnels qui sont nominatifs au sens de la loi en présence d'un cas avéré de manquement à la conduite responsable en recherche de votre part lors de la réalisation de cette recherche.

Toute communication avec le soussigné concernant la présente autorisation à réaliser la recherche doit être acheminée ainsi :

- par courriel : convenance.recherche.chum@ssss.gouv.qc.ca
- par téléphone : (514) 890-8000, poste 15213.

Pour toutes questions, conseils ou soutien relativement aux aspects éthiques de votre projet de recherche, vous pouvez aussi solliciter l'appui du CÉR de notre établissement en vous adressant aux coordonnées suivantes :

- par courriel : ethique.recherche.chum@ssss.gouv.qc.ca
- par téléphone : 514 890-8000, poste 14485.

En terminant, je vous demanderais de toujours mentionner dans votre correspondance au sujet de ce projet de recherche le numéro attribué à votre demande par le CHUM, soit **17.109**.

En vous remerciant de votre contribution à la mission de recherche de notre établissement, je vous prie d'agréer, Cher Docteur Kestens, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Vincent Poitout, D.V.M., Ph.D, FCAHS
Personne mandatée par le CHUM
pour autoriser la réalisation des recherches

c.c. :

- Me Marie-Josée Bernardi, Présidente par intérim du CÉR du CHUM