



Combinaisons de tâches locomotrices et cognitives pour révéler les déficits exécutifs suivant un traumatisme crânio-cérébral léger chez des jeunes adolescents

Mémoire

Isabelle Cossette

Maîtrise en médecine expérimentale
Maître ès sciences (M.Sc.)

Québec, Canada

© Isabelle Cossette, 2015

Résumé

Quatorze jeunes adolescents ayant précédemment subi un TCCL et treize jeunes adolescents sains ont navigué dans différents environnements combinant des conditions locomotrices (sans obstacle, enjamber un obstacle mince ou profond) et cognitives (sans tâche, tâche de Stroop (St), tâche de fluidité verbale, tâche mathématique). Le but était d'identifier les combinaisons de tâches locomotrices et cognitives ainsi que les variables qui différencient des jeunes adolescents ayant subi un TCCL à des jeunes adolescents sains. La fluidité a été trouvée plus sensible que la vitesse de marche. Le coût moteur de double-tâche (changement relatif entre une condition sans et avec obstacle combinant une même tâche cognitive) a différencié les groupes, spécifiquement lorsqu'une interférence visuelle était impliquée (St) et encore plus quand la demande au niveau de l'équilibre dynamique augmentait avec la profondeur de l'obstacle. Ces résultats aident à diriger les recherches futures sur l'évaluation clinique utilisant la double-tâche à la marche post-TCCL chez les adolescents.

Abstract

Fourteen young adolescents who had previously sustained a mild traumatic brain injury (mTBI) and thirteen healthy adolescents walked in different conditions related to environmental contexts (unobstructed walking (LEVEL), stepping over a narrow obstacle and stepping over a deep obstacle) and simultaneous cognitive tasks (no dual task (NO), Stroop task (St), verbal fluency task and arithmetic task). The goal was to identify the sensitive combinations of locomotor and cognitive tasks as well as variables that would differentiate children in early adolescence with an mTBI from those without. Fluidity was found to be more sensitive than gait speed. Motor dual-task cost (relative change between LEVEL and obstacle crossing with the same cognitive task) was found to differentiate both groups, specifically when involving visual interference (St) and more so when the dynamic equilibrium demand increased with obstacle depth. These results provide direction for future research on clinical assessment using dual-task walking post-mTBI in adolescents.

Table des matières

Résumé.....	iii
Abstract.....	v
Table des matières	vii
Liste des tableaux.....	ix
Liste des figures.....	xi
Liste des abréviations et des sigles	xiii
Avant-propos.....	xv
Chapitre 1 : Introduction.....	1
1.1. Qu'est-ce qu'un traumatisme crânio-cérébral léger?.....	1
1.1.1. Nomenclature	2
1.1.2. Incidence	2
1.1.3. Facteurs de risque	3
1.2. Effets d'un traumatisme crânio-cérébral léger	4
1.2.1. Pathophysiologie.....	4
1.2.2. Manifestations cliniques et déficits	5
1.3. Gestion clinique des traumatismes crânio-cérébraux légers	8
1.3.1. Diagnostic.....	8
1.3.2. Prise en charge du traumatisme crânio-cérébral léger.....	9
1.3.3. Suivi et retour à la fonction/au jeu	10
1.4. Double-tâche	11
1.4.1. Demande attentionnelle de la marche.....	11
1.4.2. Concept de priorisation en double-tâche.....	12
1.4.3. Paradigme de double-tâche chez différentes populations.....	13
1.4.4. Double-tâche chez les enfants	14
1.4.5. Double-tâche chez les traumatismes crânio-cérébraux légers.....	16
1.4.6. Double-tâche à la marche comme outil de suivi.....	17
1.5. Objectifs.....	19
1.6. Hypothèses.....	19
Chapitre 2 : Méthodologie	21
2.1. Population et recrutement.....	21
2.1.1. Recrutement de sujet ayant subi une commotion cérébrale.....	21

2.1.2. Recrutement de sujets contrôles	21
2.1.3. Critères d'inclusion pour tous les participants	21
2.2. Devis expérimental et protocole.....	22
2.2.1. Procédure	22
2.3. Analyse	24
2.3.1. Données cinématiques	24
2.3.2. Variables dépendantes	25
2.3.3. Statistiques	26
Chapitre 3 : Revealing executive dysfunctions following an mTBI in early adolescents with locomotor-cognitive dual-tasks.....	27
3.1. Résumé	27
3.2. Article.....	29
Chapitre 4 : Conclusion	57
4.1. Discussion	57
4.2. Retombées cliniques et perspectives	59
4.3. Limites de l'étude	60
Références.....	63
Annexes	77
Annexe A: Feuilles d'information et formulaire de consentement	77
Annexe B : Questionnaire de recrutement.....	89
.....	
.....	
.....	
.....	92
Annexe C: Feuille de collecte de données.....	93
Annexe D : <i>Rivermead postconcussion Symptom Questionnaire</i>	97
Annexe E : <i>Ohio State University TBI Identification Method-Questionnaire</i>	99

Liste des tableaux

TABLE 1: SUBJECT CHARACTERISTICS (AVERAGES \pm STANDARD DEVIATIONS)..... 55

TABLE 2: AVERAGES AND STANDARD DEVIATIONS FOR FOOT PROXIMITY (PROX) TO THE OBSTACLE AND TOE CLEARANCES (CLEAR) FOR TRAIL AND LEAD FEET FOR BOTH NARROW (NA) AND DEEP (DP) OBSTACLE AVOIDANCE CONDITIONS. COGNITIVE TASKS WERE NO COGNITIVE TASK (NO); STROOP TASK (ST); VERBAL FLUENCY TASK (VFT); ARITHMETIC TASK (AT). 56

Liste des figures

FIGURE 1: PHASES OVER THE WHOLE TRIAL FOR LEAD (BLACK) AND TRAIL (WHITE) FEET DURING FIRST APPROACH (APP1), SECOND APPROACH (APP2), LEAD CROSSING (LC) AND TRAIL CROSSING (TC). ALSO INDICATED ARE THE PROXIMITY MEASURES FOR THE LEAD AND TRAIL FEET.	50
FIGURE 2 : AVERAGES AND STANDARD DEVIATIONS FOR GAIT SPEED DURING LOCOMOTOR AND COGNITIVE TASKS FOR MTBI (BLACK BARS) AND CONTROL (WHITE BARS) GROUPS BY PHASES (APPROACH 1 (APP1); APPROACH 2 (APP2); LEAD CROSSING (LC); TRAIL CROSSING (TC)). COGNITIVE TASKS WERE NO COGNITIVE TASK (NO); STROOP TASK (ST); VERBAL FLUENCY TASK (VFT); ARITHMETIC TASK (AT). GAIT TASKS WERE LEVEL WALKING (LEVEL), NARROW OBSTACLE AVOIDANCE (NA) AND DEEP OBSTACLE AVOIDANCE (DP). * SIGNIFICANT DIFFERENCES BETWEEN GROUPS (P<0.05).....	51
FIGURE 3: AVERAGES AND STANDARD DEVIATIONS FOR GAIT SPEED AND FLUIDITY DURING LOCOMOTOR AND COGNITIVE TASKS FOR MTBI (BLACK BARS) AND CONTROL (WHITE BARS) GROUPS FOR THE WHOLE TRIAL. COGNITIVE TASKS WERE NO COGNITIVE TASK (NO); STROOP TASK (ST); VERBAL FLUENCY TASK (VFT); ARITHMETIC TASK (AT). GAIT TASKS WERE LEVEL WALKING (LEVEL), NARROW OBSTACLE AVOIDANCE (NA) AND DEEP OBSTACLE AVOIDANCE (DP). SIGNIFICANT DIFFERENCES BETWEEN GROUPS (P<0.05).	52
FIGURE 4 : AVERAGES AND STANDARD DEVIATIONS FOR FLUIDITY DURING LOCOMOTOR AND COGNITIVE TASKS FOR MTBI (BLACK BARS) AND CONTROL (WHITE BARS) GROUPS BY PHASES (APPROACH 1 (APP1); APPROACH 2 (APP2); LEAD CROSSING (LC); TRAIL CROSSING (TC)). COGNITIVE TASKS WERE NO COGNITIVE TASK (NO); STROOP TASK (ST); VERBAL FLUENCY TASK (VFT); ARITHMETIC TASK (AT). GAIT TASKS WERE LEVEL WALKING (LEVEL), NARROW OBSTACLE AVOIDANCE (NA) AND DEEP OBSTACLE AVOIDANCE (DP). * SIGNIFICANT DIFFERENCES BETWEEN GROUPS (P<0.05).....	53
FIGURE 5 : AVERAGES AND STANDARD DEVIATIONS FOR DUAL-TASK COSTS (%) DURING MOTOR AND COGNITIVE CONDITIONS IN GAIT SPEED AND FLUIDITY DURING LOCOMOTOR AND COGNITIVE TASKS FOR MTBI (BLACK BARS) AND CONTROL (WHITE BARS) GROUPS FOR THE WHOLE TRIAL. COGNITIVE TASKS WERE NO COGNITIVE TASK (NO); STROOP TASK (ST); VERBAL FLUENCY TASK (VFT); ARITHMETIC TASK (AT). GAIT TASKS WERE LEVEL WALKING (LEVEL), NARROW OBSTACLE AVOIDANCE (NA) AND DEEP OBSTACLE AVOIDANCE (DP). * SIGNIFICANT DIFFERENCES BETWEEN GROUPS (P<0.05).....	54

Liste des abréviations et des sigles

TCCL	Traumatisme craniocérébral léger
BESS	Balance Error Scoring System
CoM	Centre de masse
CoP	Centre de pression
St	Tâche de Stroop
FV	Tâche de fluidité verbale
Math	Tâche mathématique
CDT	Coût de double-tâche
GEE	Generalized linear model
mTBI	Mild traumatic brain injury
DTW	Dual-task walking
DTC	Dual-task cost
CTRL	Control subjects
EA	Early adolescence
LEVEL	Level walking
NA	Narrow obstacle
DP	Deep obstacle
NO	No cognitive task
St	Stroop task
VFt	Verbal fluency task
At	Arithmetic task
APP1	Approach 1
APP2	Approach 2
LC	Lead crossing
TC	Trail crossing

Avant-propos

L'étude présentée dans ce mémoire avec insertion d'article scientifique fait partie d'un plus grand projet financé par l'Institut en recherche en santé du Canada (IRSC) dont plusieurs chercheurs font partis. Je suis l'auteure principale de l'article inclus dans ce mémoire qui fût rédigé sous la supervision des Drs Bradford James McFadyen et Marie-Christine Ouellet. J'ai participé à l'élaboration du protocole de recherche, du recrutement et de la collecte de données en collaboration avec Marie-Ève Gagné, étudiante en psychologie. J'ai également effectué toutes les analyses de données des résultats présentés dans ce mémoire. Les coauteurs Drs, Katia Sirois, Philippe Fait, Isabelle Gagnon, Sophie Blanchet et Nathalie LeSage ont participé à l'élaboration du protocole de recherche.

Je tiens tout d'abord à remercier mon superviseur Bradford James McFadyen pour son soutien dans ma formation scientifique débutée lors de mes études en physiothérapie et de m'avoir encouragé à poursuivre dans l'obtention de ce diplôme de maîtrise en médecine expérimentale. Sa passion et sa rigueur scientifique mon permis de développer mon sens critique et d'améliorer ma pratique future en tant que physiothérapeute. Je le remercie également de m'avoir fait confiance et de m'avoir ouvert la porte de toutes les belles opportunités qui ont fait parties de mon cheminement en recherche. Je tiens également à remercier ma co-superviseuse Marie-Christine Ouellet pour son support tout au long de mes études et de m'avoir ouvert la porte à un domaine qui m'était inconnu soit la psychologie. Je voudrais aussi les remercier pour leur disponibilité et leur support jusqu'à la fin de ma rédaction.

Mes remerciements vont également à M. Guy St-Vincent pour son aide pour les collectes de données. Je veux également le remercier de sa disponibilité et des fins de semaine passées au CIRRIIS. Je remercie aussi Isabelle Lorusso pour sa collaboration au projet.

Je tiens à remercier Marie-Ève Gagné pour sa collaboration sur le projet de recherche et de m'avoir suivie lorsque je voulais toujours aller plus vite. Un gros merci, à Caroline Charrette, pour son support moral tout au long de mon

cheminement en recherche et de nos nombreux fous rires dans les corridors du CIRRIIS. Finalement, je voudrais remercier les membres de ma famille qui m'ont fait à manger, m'ont fait mon lavage et m'ont supporté durant cette année et demie de maîtrise plus que chargée!

Chapitre 1 : Introduction

1.1. Qu'est-ce qu'un traumatisme crânio-cérébral léger?

Dans la vie de tous les jours, se cogner la tête que ce soit par inattention ou en tombant est fréquent. Bien sûr, la plupart de ces situations résultent en une contusion banale, mais dans certains cas la force d'impact peut être assez forte pour causer une perturbation du fonctionnement du cerveau. C'est alors que l'on parlera de traumatisme crânio-cérébral (TCC). Chaque TCC est différent et les causes en sont très variées allant de chutes ou accidents sportifs à des accidents de véhicules motorisés ou des expositions à des explosions. Les TCC sont souvent classifiés en trois catégories de sévérités différentes : léger, modéré et sévère (Langlois, Rutland-Brown, & Thomas, 2004). Pour déterminer la sévérité d'un TCC, le monde médical se base sur trois critères : le score de Glasgow (état de conscience), le temps de perte de conscience et le temps d'amnésie post-traumatique (Ruff, Iverson, Barth, Bush, & Broshek, 2009). Après avoir fait une revue de tous les critères utilisés dans la littérature pour un TCC léger (TCCL), l'Organisation Mondiale de la Santé (Kristman et al., 2014) suggère les critères suivants: (1) Au moins un des critères suivants : perte de conscience de 30 min ou moins, amnésie post-traumatique de moins de 24h, des anomalies neurologiques transitoires (signes focaux, convulsions, lésions intracrâniennes ne nécessitant pas d'intervention chirurgicale); (2) Un score à l'échelle de Glasgow de 13 ou plus à 30 min post-accident ou lors de sa présentation à un professionnel de la santé; (3) ces manifestations ne doivent pas être présentes dû à l'usage de drogues, d'alcool, de médication, ou associé à d'autres problèmes, d'autres blessures ou par une blessure crânienne pénétrante.

La définition même des TCCL a souvent changé dans les dernières années (Aubry et al., 2002; McCrory et al., 2005, McCrory et al., 2009, McCrory et al., 2013) reflétant la complexité de cette pathologie. Selon la société médicale américaine (Harmon et al., 2013), un TCCL se définit comme étant une perturbation transitoire des fonctions cérébrales induite de façon traumatique qui implique un processus pathophysiologique complexe. Plusieurs construits cliniques, pathologiques ou biomécaniques sont utilisés pour définir une commotion cérébrale (McCrory et al., 2013). Le troisième consensus d'expert sur les commotions cérébrales dans le sport (McCrory et al., 2013) indique que le TCCL :

1. Peut être causé par un coup direct à la tête, au visage, au cou ou ailleurs sur le corps qui peut transmettre une force d'impulsion à la tête.
2. Résulte, en général, en des manifestations de dysfonctions neurologiques qui se résolvent de façon spontanée. Ces signes et symptômes peuvent toutefois se manifester sur une période plus longue allant de quelques minutes à quelques heures.
3. Peut causer des changements neuropathologiques, mais la plupart des symptômes cliniques aigus reflètent une dysfonction fonctionnelle plutôt que structurelle. C'est pourquoi aucune anomalie n'est retrouvée sur les investigations radiologiques de routine (ex. tomodensitométrie).
4. Résulte en une série de symptômes cliniques qui peuvent inclure ou non une perte de conscience. Habituellement, la résolution des symptômes cliniques et cognitifs suit une séquence logique. Par contre, les symptômes peuvent persister dans certains cas.

1.1.1. Nomenclature

Un débat de nomenclature est encore ouvert à savoir si nous devrions utiliser le terme TCCL ou commotion cérébrale, les deux termes se chevauchant. Pour certains, la commotion cérébrale est une sous-catégorie des TCCL (King, Brughelli, Hume, & Gissane 2014) ce qui implique que toutes les commotions cérébrales sont des TCCL, mais que tous les TCCL ne seraient pas des commotions cérébrales (Harmon et al., 2013). Chose certaine, les deux termes se situent au bas de l'échelle de sévérité des traumatismes crânio-cérébraux. De façon générale, le terme commotion cérébrale est couramment utilisé dans le sport et dans le contexte clinique, puisqu'il est souvent mieux compris par les patients (Iverson & Lange, 2011). Dans ce mémoire, le terme TCCL sera utilisé afin de rester le plus général possible.

1.1.2. Incidence

Les TCCL représentent environ 80% de tous les traumatismes crânio-cérébraux (Langlois et al., 2004), mais ils sont encore sous-diagnostiqués puisque bien des personnes ne consultent pas un professionnel de la santé à la suite d'un coup important à la tête. Malgré un intérêt croissant dans la population générale et la communauté scientifique, les conséquences des TCCL restent tout de même sous-estimées et mal-comprises (Cassidy et al., 2004; Ruff et al., 2009; Ryu, Feinstein, Colantonio, Streiner, & Dawson, 2009; Consensus conference, 1999; Sosin,

Snizek, & Thurman, 1996). La plupart des TCC arrivent dans la période de l'adolescence ou chez les jeunes adultes (Pickett, Simpson, & Brison, 2004). Chez les adultes, l'incidence par 100 000 habitants est de 600 (Cassidy et al., 2004) alors qu'elle est de 629 chez les enfants de 10 à 14 ans et de 814 pour les personnes âgées entre 15 et 19 ans (Langlois et al., 2004).

Selon les statistiques du Regroupement des Associations de Personnes Traumatisées Cranio-cérébrales du Québec (<http://www.raptccq.com/>), chez les adultes, 45% des TCC sont causés par des accidents de la route, 30 % par des chutes, 10% chacun pour les accidents de travail et les sports/loisirs et 5 % par des agressions physiques. Chez les enfants, les deux principales causes sont les chutes à 35% et les sports ou les loisirs à 29%. Les TCCL représentent environ 5,8% des blessures chez les athlètes de niveau universitaire et environ 8,9% pour ceux évoluant au niveau secondaire et collégial (Noble & Hesdorffer 2013).

1.1.3. Facteurs de risque

Plusieurs facteurs de risque ont été étudiés pour tenter d'expliquer la présence d'un TCCL. Quelques revues sur le sujet mentionnent le fait qu'il manque encore d'évidences scientifiques sur les facteurs de risque (Noble & Hesdorffer 2013; Abraham, Fie, Patricios, Posthumus, & September, 2014; Cancelliere, Donovan, & Cassidy, 2015) puisque peu d'études sont arrivées à des résultats concluants, mettant en lumière la complexité de la pathologie du TCCL.

Selon Abraham et al. (2014), les deux seuls facteurs de risque identifiés avec un haut niveau d'évidence pour les TCCL dans le sport sont un antécédent de TCCL et le fait de pratiquer un sport dans un contexte de compétition. Noble & Hesdorffer (2013) ont également fait une revue des différents facteurs de risque existants. Avec un faible niveau d'évidence, ils indiquent qu'un antécédent de TCCL représenterait un facteur de risque de récupération plus lente.

En terme de facteur d'âge, chez les adolescents, le taux d'incidence des TCCL serait plus élevé chez les filles que chez les garçons (Noble & Hesdorffer 2013). D'un autre côté, Cancelliere et al. (2015) ont fait une revue sur la différence de sexe pour la récupération et le pronostic post-TCCL. Ils ont conclu que le sexe n'était pas

encore un facteur de risque bien compris et que seulement de petites différences entre les sexes pour certaines conséquences étaient trouvées. Par exemple, les filles auraient recours à plus de services médicaux que les garçons à la suite d'un TCCL.

De plus, selon des évidences limitées, il y aurait une tendance que les personnes plus jeunes seraient plus à risque de subir un TCCL (Noble & Hesdorffer 2013). En effet, une revue systématique indique une récupération plus longue chez les jeunes, mais ils ne seraient pas nécessairement plus à risque de récupération prolongée (>4 semaines) (Foley, Gregory, & Solomon, 2014). Finalement, il n'y a aucune évidence que la forme physique protégerait contre les TCCL (Noble & Hesdorffer 2013).

1.2. Effets d'un traumatisme crânio-cérébral léger

1.2.1. Pathophysiologie

Un TCCL résulterait en deux types de dysfonctions: structurelles et fonctionnelles (McCrary & Berkovic 2001). Des dommages cérébraux surviennent lorsqu'une force directe ou rotationnelle est induite au cerveau dans la boîte crânienne ce qui amènerait une cascade neurochimique (Dashnaw, Petraglia, & Bailes, 2012). Du côté structurel, une perturbation au niveau de l'équilibre ionique et du métabolisme normal des cellules cérébrales se produirait. Ceci se traduirait par un impact au niveau de l'apport sanguin au cerveau et de la fonction des mitochondries. Ces changements résulteraient en une demande en énergie plus élevée afin de rétablir l'homéostasie. (Prins, Hales, Reger, Giza, & Hovda, 2010; Barkhoudarian, Hovda, & Giza, 2011; Vagnozzi et al., 2007).

Il a également été proposé qu'il y aurait des dommages fonctionnels directs sur les neurones au niveau du tronc cérébral (Denny-Brown & Russell 1941). De plus, ces perturbations pathophysiologiques seraient plus prononcées chez les enfants/adolescents (Shrey, Griesbach, & Giza, 2011). Cela serait dû au fait que leur cerveau est encore en développement et que de tels changements auraient un impact plus important sur eux (Shrey et al., 2011). Ceci est un point appuyant l'importance de s'attarder à cette clientèle étant donné leur vulnérabilité autant au

niveau physiologique qu'au niveau de l'incidence élevée auprès de cette tranche d'âge.

1.2.2. Manifestations cliniques et déficits

Un TCCL peut s'accompagner de différentes manifestations cliniques (McCrary et al., 2013): symptômes somatiques, cognitifs ou émotionnels, signes physiques (ex. : perte de conscience, amnésie), changement de comportement (ex., irritabilité), déficits cognitifs (ex. : ralentissement de la pensée), perturbation du sommeil (ex. : insomnie) et perturbation posturale (ex., problèmes liés à l'équilibre statique) (Guskiewicz & Register-Mihalik, 2011). Dans la catégorie des symptômes somatiques, on retrouve les maux de tête, nausée/vomissements, étourdissements, sensibilité à la lumière et aux bruits, fatigue et problèmes visuels. Pour ce qui est des symptômes cognitifs, on y retrouve le sentiment d'être au ralenti/d'être dans le brouillard, des difficultés de concentration, ses troubles de mémoire (difficulté à se souvenir, oubli de conversations ou d'évènements récents), de la confusion et de la lenteur pour répondre des questions. Finalement dans la catégorie des symptômes émotionnels, on y compte de l'anxiété, de la tristesse, de la nervosité ou de l'émotivité accrue (Harmon et al., 2013). Dans la majorité des cas, ces manifestations cliniques vont disparaître en 7 à 10 jours post-TCCL (McCrea et al., 2003; Broglio & Puetz 2008; McCrary et al., 2013).

1.2.2.1. Déficiets posturaux

L'équilibre implique trois systèmes différents : visuel, vestibulaire et somatosensoriel. Certains symptômes comme les étourdissements, les maux de tête, la confusion, la vision trouble peuvent être associés à des manifestations de problèmes d'équilibre, et ce possiblement jusqu'à 30% du temps (Guskiewicz, Weaver, Padua, & Garrett, 2000). Par contre, certains auteurs ont proposé qu'il était difficile de différencier les symptômes auto rapportés ayant une origine cervicogénique/vestibulaire de ceux causés par un dysfonctionnement d'un autre système (Leddy et al., 2015).

Des perturbations au niveau de l'équilibre statique sont également présentes après un TCCL (Guskiewicz & Register-Mihalik, 2011; Gagnon, Forget, Sullivan, & Friedman, 1998). Plusieurs études ont montré que les problèmes d'équilibre statique identifiés en phase aiguë disparaissaient à l'intérieur de 10 jours dans la majorité des cas lorsque mesurés avec des instruments comme le *Sensory Organisation Test*

(SOT) ou le *Balance Error Scoring System* (BESS) (Guskiewicz, Ross, & Marshall, 2001; Guskiewicz & Register-Mihalik, 2011; Peterson, Ferrara, Mrazik, Piland, & Elliott, 2003; McCrea et al., 2003). De leur côté, Powers, Kalmar, & Cinelli (2014) ont montré un retour à la normale du déplacement antéro-postérieur du centre de pression des pieds lors d'une tâche d'équilibre statique au moment de la disparition des symptômes postcommotionnels alors que la vitesse antéro-postérieure du centre de pression demeurait encore plus grande que la normale.

Les problèmes au niveau de l'équilibre peuvent entre autres provenir d'une perturbation du système vestibulaire. De plus en plus d'études se sont penchées sur l'évaluation et le traitement de ce système suite à un TCCL pour tenter d'identifier le mieux possible la provenance des symptômes (cervical/vestibulaire vs autres origines) (Schneider et al., 2014; Gurler, Hujsak, & Kelly, 2013; Leddy et al., 2015; Reneker, Clay Moughiman, & Cook, 2014).

L'équilibre dynamique est également affecté suite à un TCCL. Il a été montré que quelques jours après un TCCL, des stratégies de marche plus conservatrices seraient utilisées en permettant moins de déplacement du centre de masse ce qui limiterait le risque de chute (Catena, van Donkelaar, & Chou, 2011). Ce comportement reviendrait à la normale graduellement dans les 14 premiers jours (Catena et al., 2011).

De plus, il a été suggéré que le contrôle postural dynamique serait déficient spécifiquement lorsqu'il y a une perturbation de la marche normale (Buckley, Munkasy, Tapia-Lovler, & Wikstrom, 2013; Powers et al., 2014; Baker & Cinelli 2014; Chiu et al., 2013). Des perturbations au niveau de la façon d'arrêter de marcher ont été observées (Buckley et al., 2013). L'habileté à moduler la coordination entre les articulations du membre inférieur lors de l'enjambement d'obstacle serait également perturbée (Chiu, Osternig, & Chou, 2013). De leur côté, Powers, Kalmar, & Cinelli (2013) ont montré que lorsque des athlètes ayant subi un TCCL étaient considérés comme prêts pour un retour au jeu, des déficits au niveau du contrôle dynamique du corps étaient toujours présents lors d'une tâche de changement de direction. Ils ont observé des différences au niveau des stratégies de réorientation du corps (tête sur tronc vs en bloc) en comparaison avec des sujets contrôles. Des déficits au niveau

du contrôle postural et de la prise de décision ont également été montrés lors d'une tâche locomotrice demandant de faire un choix sur la façon d'éviter un obstacle (Baker & Cinelli 2014). Les participants devaient choisir soit de passer entre deux obstacles, dont la distance qui les séparent variait, ou de les contourner. Enfin, Catena, van Donkelaar, & Chou (2009) ont soulevé que l'utilisation d'une tâche d'enjambement d'obstacle serait intéressante à utiliser pour mettre en évidence les déficits à long terme suite à un TCCL.

1.2.2.2. Déficits cognitifs

Des déficits au niveau des fonctions exécutives (FE) ont été montrés suite à un TCCL. Les FE réfèrent à des fonctions cognitives supérieures qui nous permettent de diriger nos actions et de les rendre efficaces, tout en partageant les ressources attentionnelles disponibles (Adam & Parsons 2003; Fuster 1999; Lezak 1995; Stuss & Levine 2002; Lorenz-Reuter 2000; Goethals, Audenaert, Van de, & Dierckx, 2004). Elles peuvent être séparées en cinq grandes catégories : volition, planification, action dirigée vers un but, efficacité d'exécution et l'inhibition cognitive (Stuss & Levine 2002; Lorenz-Reuter 2000; Goethals et al., 2004).

Immédiatement après le TCCL, l'attention soutenue et divisée, la vitesse psychomotrice, la fluidité verbale, la reconnaissance et le rappel de matériel verbal peuvent être affectés (Kwok, Lee, Leung, & Poon, 2008). Dans une étude effectuée trois mois post-TCCL, l'attention soutenue et la reconnaissance et le rappel de matériel verbal n'était pas revenus à la normale (Kwok et al., 2008).

Halterman et al. (2006) ont aussi montré des problèmes persistants un mois post-TCCL au niveau de la composante exécutive de l'attention visuospatiale. Il a été suggéré que les difficultés d'apprentissage rapportées par des personnes ayant subi un TCCL pourraient être dues à une difficulté d'utiliser des stratégies efficaces pour faciliter l'apprentissage (Geary, Kraus, Rubin, Pliskin, & Little, 2011). Des altérations au niveau du traitement de l'information, de l'attention divisée et soutenue et de la mémoire de travail ont également été trouvées des mois et même des années post-TCCL (Landre, Poppe, Davis, Schmaus, & Hobbs, 2006; Chan, 2005; Ziino & Ponsford, 2006; Gosselin, Theriault, Leclerc, Montplaisir, & Lassonde, 2006; Iverson,

Lange, Gaetz, & Zasler, 2007; Register-Mihalik et al., 2012; Guskiewick & Register-Mihalik, 2011; Teel, Register-Mihalik, Troy Blackburn, & Guskiewicz, 2013).

1.3. Gestion clinique des traumatismes crânio-cérébraux légers

1.3.1. Diagnostic

L'évaluation et le traitement des TCCL représentent un grand défi pour les professionnels de la santé, autant au niveau du diagnostic que de leur prise en charge. Il existe peu d'outils objectifs validés spécifiques pour cette clientèle. Les différences de présentation clinique de cette pathologie d'une personne à l'autre constituent une difficulté. Les principales mesures pour diagnostiquer les TCCL sont subjectives de nature puisqu'il s'agit de relever la présence de symptômes qui doivent être rapportés par la personne elle-même. Il a été montré que près de 50% des TCCL ne sont pas rapportés (McCrea, Hammede, Olsen, Leo & Guskiewicz, 2004) et ce, pour plusieurs raisons comme entre autres, l'impression que ce n'est pas grave et que cela ne nécessite pas une attention médicale (McCrea et al., 2004). Dans le monde sportif, le désir de ne pas vouloir être mis à l'écart du jeu est aussi un autre motivateur de ne pas rapporter de symptôme suite à un coup à la tête. Ceci met en lumière l'importance d'élaborer des tests objectifs pour le diagnostic du TCCL, mais aussi pour le suivi de la condition.

Présentement, les deux outils recommandés pour le diagnostic sont les batteries de tests *Sport Concussion Assessment Tool-3* (SCAT-3) (McCrory et al., 2013) et King-Devick (Galetta et al., 2011; Galetta et al., 2013; King, Brughelli, Hume, & Gissane, 2013). Les évidences quant à leur utilité seraient toutefois toujours limitées selon une revue récente sur le sujet puisque peu d'études ont étudié leur fidélité et leur validité (King et al., 2014). Afin d'aider au diagnostic, West et Marion (2013) mentionnent le besoin d'identifier des biomarqueurs (ex., des protéines spécifiques identifiées dans le sang) présents lors d'un TCCL afin de tenter d'ajouter certaines données objectives au diagnostic. Certaines études portant sur ce sujet semblent prometteuses (Shahim et al., 2015; Siman et al., 2014; Pham, Akonasu, Shishkin, & Taghibiglou, 2015), mais plus d'évidences sont encore nécessaires. En effet, ce type

d'évaluation est encore peu accessible et son utilité clinique n'est pas encore bien déterminée.

1.3.2. Prise en charge du traumatisme crânio-cérébral léger

Dans les dernières années, plusieurs guides de pratique ont été rédigés pour tenter de donner des lignes directrices et de suggérer des outils aux intervenants œuvrant auprès de cette clientèle. West et Marion (2013) ont fait une révision de trois guides de pratique (McCrory et al., 2013; Giza et al., 2013; Harmon et al., 2013) afin de ressortir les recommandations communes pour les TCCL dans le sport.

Dans la prise en charge, les points clés relevés sont qu'à partir du moment où il y a suspicion d'un TCCL dans le sport, l'athlète devrait être retiré du jeu et une reprise progressive de l'activité physique devrait être faite lors de la disparition totale des symptômes avant un retour à la compétition. Il existe également des évidences que de faire de l'exercice léger sous le seuil de l'exacerbation des symptômes serait bénéfique (Schneider et al., 2013). Une période initiale de repos serait également recommandée sans toutefois être stricte, ce qui n'amènerait aucun bénéfice supplémentaire (Thomas, Apps, Hoffman, McCrea, & Hammeke, 2015). West et Marion (2013) mentionnent également qu'une imagerie cérébrale n'est pas nécessaire de façon systématique chez toutes les personnes ayant subi un TCCL.

Dans les dernières années, des études ont commencé à montrer que les enfants/adolescents récupèreraient, sur le plan cognitif et physique, plus lentement que les adultes suite à un TCCL (Foley et al., 2014). Il serait important de considérer le jeune âge comme facteur modifiant. Ainsi, des protocoles spécifiques à cette clientèle ont alors été proposés (INESSS; Dematteo et al., 2015; Dematteo et al., 2015; May, Marshall, Burns, Popoli, & Plikandriotis, 2014). Le principal ajout de ces recommandations est l'inclusion d'un protocole de retour à l'apprentissage/école effectué avant le retour à l'activité physique. Plus de recherches sont nécessaires afin de développer des outils cliniques objectifs pour le diagnostic et le suivi.

1.3.3. Suivi et retour à la fonction/au jeu

Dans les guides de pratique présentement utilisés par les professionnels de la santé, des outils d'évaluation de l'équilibre statique et des fonctions cognitives sont inclus. Des outils comme le BESS ont montré leur validité afin de mesurer l'équilibre statique suite à un TCCL (Bell, Guskiewicz, Clark, & Padua, 2011). Certains ont même proposé que l'ajout d'un accéléromètre à ce test puisse ajouter de la sensibilité à l'évaluation de l'équilibre statique (King et al., 2013; Brown et al., 2014). Des batteries de tests neuropsychologiques soit papier/crayon ou sur ordinateur ont également montré leur utilité (Echemendia et al., 2013) comme le *Standardized Assessment of Concussion* (SAC) (McCrea et al., 1998) et le *Immediate Post Concussion Assessment and Cognitive Testing* (ImPACT) (Allen & Gfeller, 2011). Par contre, il a été suggéré que l'utilisation d'évaluation neuropsychologique brève ne peut pas remplacer une évaluation complète (Echemendia et al., 2013).

Les tests cognitifs et moteurs couramment utilisés en clinique semblent cependant ne pas être assez sensibles pour mettre en évidence les problèmes résiduels d'un TCCL (Catena et al., 2011; Fait, McFadyen, Swaine, & Cantin, 2009; Fait, Swaine, Cantin, Leblond, & McFadyen, 2013). Une raison possible est que ces tests vont évaluer de manière quasi isolée certaines fonctions cognitives ou motrices. Il est rare que des tests requièrent que le sujet performe simultanément une tâche cognitive complexe et une tâche requérant par exemple de l'équilibre dynamique. Or, des tests plus complexes et faisant appel à une plus grande diversité de fonctions pourraient être plus sensibles pour détecter de déficits persistants à la suite d'un TCCL. Comme mentionnés précédemment, des déficits au niveau de l'équilibre dynamique lors de l'enjambement d'un obstacle ont été montrés des jours (Parker, Osternig, van Donkelaar, & Chou, 2006) et même des années post-TCCCL (Martini et al., 2011) et ces changements sont encore plus évidents lorsqu'une tâche cognitive est effectuée simultanément. Ainsi, certains auteurs prétendent que l'évaluation de la locomotion seule ne serait pas assez sensible (Parker et al., 2006; Gagnon et al., 1998; Gagnon, Friedman, Swaine, & Forget, 2001).

Guskiewicz et ses collègues (Guskiewicz & Register-Mihalik, 2011; Register-Mihalik, Littleton, & Guskiewicz, 2013) ont aussi soulevé l'importance d'une approche multidisciplinaire dans la gestion des TCCL et d'évaluations exhaustives

combinant plus intensément des domaines cognitifs et sensorimoteurs. L'évaluation des TCCL pourrait donc reposer plutôt sur l'évaluation d'activités plus proches de celles de la vie quotidienne qui intègrent souvent naturellement des demandes complexes au plan sensorimoteur et cognitif. De telles tâches pourraient engendrer un plus grand défi fonctionnel et ainsi être plus sensibles.

Les évaluations présentement utilisées en clinique sont faites dans des environnements contrôlés. Par contre, marcher pour traverser une rue, descendre un escalier, marcher sur un trottoir, etc., sont des activités de tous les jours qui demandent tous un niveau élevé d'attention et de planification pour être effectuées efficacement et de façon sécuritaire. C'est également le cas des tâches effectuées par les athlètes qui doivent continuellement effectuer des tâches locomotrices complexes tout en portant attention à leur environnement et en prenant des décisions lors de la réalisation de leur sport. C'est dans ce genre d'environnements complexes représentatifs de la réalité que les personnes ayant subi un TCCL pourraient être évaluées. Le paradigme de double-tâche à la marche est un concept intéressant nous permettant d'évaluer un individu dans un contexte plus écologique tout en amenant cette intégration accrue des aspects sensorimoteurs et cognitifs.

1.4. Double-tâche

1.4.1. Demande attentionnelle de la marche

Le simple fait de marcher requiert de la planification et un ajustement dynamique locomoteur constant afin que le déplacement soit effectué de façon efficace et sécuritaire (Patla & Grieg, 2006; McFadyen & Carnahan, 1997). De plus, rarement sont les situations où l'on marche sans rencontrer certaines entraves qui à leur tour augmentent la demande attentionnelle nécessaire.

En effet, dans la vie de tous les jours, nous sommes constamment amenés à faire des ajustements posturaux tout en ayant recours à nos fonctions cognitives (ex. : balayage visuel, communiquer, etc.) afin de naviguer au travers d'environnements complexes (marcher dans la rue, descendre un escalier, etc.). Il a été montré que la demande attentionnelle change dépendamment de ces environnements que ce soit un obstacle à enjamber (Chou, Kaufman, Walker-Rabatin, Brey, & Basford, 2004;

Vallée et al., 2006) ou un escalier à naviguer (Miyasike-DaSilva & McIlroy, 2012; Telonio, Blanchet, Maganaris, Baltzopoulos, & McFadyen, 2013). Récemment, Montero-Odasso & Hachinski (2014) ont suggéré que le contrôle locomoteur partagerait des réseaux neuronaux du cerveau avec les fonctions exécutives ce qui pourrait expliquer une partie de l'interférence présente lorsque ces deux systèmes sont utilisés simultanément.

1.4.2. Concept de priorisation en double-tâche

Le paradigme de double-tâche est de plus en plus utilisé afin d'évaluer l'impact sur la marche qu'ont des tâches requérant les fonctions exécutives, tout en mettant l'emphase davantage sur l'attention (Woollacott & Shumway-Cook, 2002; Yogev-Seligmann, Hausdorff, & Giladi, 2008; Al-Yahya et al., 2011). Une compétition entre la locomotion et la tâche cognitive qui y est combinée se ferait pour les ressources attentionnelles disponibles. Ceci fait référence à la théorie du partage des capacités (Pashler, 1994), c'est-à-dire que les capacités cognitives seraient limitées et lorsque des tâches sont effectuées en même temps, un partage devrait être fait. Des déficits pourraient être observés lorsqu'une ou plusieurs tâches deviendraient trop exigeantes (Pashler, 1994).

Une autre théorie, celle du «*bottleneck*» (Pashler, 1994) pourrait également expliquer l'effet de la double-tâche. Cette dernière énonce que lorsque deux tâches demandant le même type de mécanisme d'analyse de l'information sont faites simultanément, elles entreraient en compétition (Pashler, 1994). Du même coup, l'une des tâches (ou les deux) s'en retrouverait négligée (Pashler, 1994). Ainsi, plusieurs concepts par rapport à la priorisation de la tâche motrice versus la tâche cognitive ont été soulevés (Yogev-Seligmann, Hausdorff, & Giladi, 2012). Plusieurs facteurs entreraient en jeu lorsque vient le temps de prioriser une tâche par rapport à l'autre. En effet, plus les tâches à effectuer sont complexes, plus elles demandent un grand niveau d'attention et plus il y aurait d'effets observés sur une ou l'autre ou encore sur les deux tâches.

C'est ainsi que le concept de «*posture reserve*» (Yogev et al., 2012) entre en jeu. Ce dernier énonce que tant et aussi longtemps que la demande attentionnelle n'affecte pas le risque de chute, la tâche cognitive serait priorisée. Par conséquent, lorsque le

risque de chute deviendrait plus élevé, la priorité changerait vers la tâche motrice. Par contre, le jugement et le niveau d'anxiété viendraient également influencer cette priorisation. C'est ainsi qu'il a été observé que chez certaines populations, par exemple les personnes âgées ou les personnes souffrant de la maladie de Parkinson, la tâche cognitive continuerait à être priorisée malgré un risque de chute accru (Yogev et al., 2005; Bloem, Valkenburg, Slabbekoom, & van Dijk, 2001; Chapman & Hollands 2007). Ces personnes se montreraient donc plus téméraires par rapport à l'estimation du niveau de risque que la tâche représente (Bloem, Grimbergen, van Dijk, & Munneke, 2006; van Iersel et al., 2006).

Certains auteurs se sont également intéressés au lien entre la complexité des tâches et la priorité qui leur est accordée (Muhaidat, Kerr, Evans, & Skelton, 2013; Beauchet, Dubost, Gonthier, & Kressig, 2005; Huxhold, Li, Schmiedek, Lindenberger, 2006; Lövdén, Schaefer, Pohlmeier, & Lindenberger, 2007). La théorie de la relation en U pour expliquer l'effet de la complexité des tâches a alors été proposée (Huxhold et al., 2006). Elle prétend que dans une situation de double-tâche, le contrôle postural serait meilleur lorsqu'une tâche cognitive simple serait faite simultanément à une tâche simple d'équilibre statique comparativement à une tâche simple d'équilibre statique faite seule. Il suppose que de porter trop d'attention à une tâche automatique ne serait pas bénéfique et amènerait une détérioration de la performance motrice. De plus, lorsqu'une tâche cognitive plus complexe serait utilisée, alors le contrôle postural se détériorerait davantage. Lövdén et al. (2007) ont tenté de montrer cette même relation lors de l'exécution d'une double-tâche sur tapis roulant. Ils ont soulevé le point que la relation de la complexité dépendrait des tâches utilisées et de la population étudiée.

1.4.3. Paradigme de double-tâche chez différentes populations

Comme noté dans McFadyen et al. (accepté), c'est à la fin des années 80 et au début des années 90 que sont sorties les premières études se penchant sur l'aspect attentionnel de la marche (Abernathy, 1988; Bardy & Laurent, 1991; Lajoie, Teasdale, Bard, & Fleury, 1993; Wright & Kempù, 1992). Ensuite, le concept de double-tâche durant la marche a beaucoup été exploité dans les 15 dernières années chez différentes populations (Al-Yahya et al., 2011; Woolacott & Shumway-Cook 2002; Yogev-Seligmann et al., 2008).

Les personnes âgées et le risque de chutes sont les deux sujets ayant le plus retenu l'attention des différentes recherches utilisant les double-tâches. Une des premières observations qui a été soulevée par Lundin-Olsson, Nyberg, & Gustafson (1997) est que les personnes à risque de chute arrêtent de marcher pour parler. Beaucoup d'autres études se sont inspirées de cette observation en combinant des tâches verbales durant la marche et ont montré leur utilité à prédire les chutes chez des personnes âgées saines (Ayers, Tow, Holtzer, & Verghese, 2014; Beauchet et al., 2009). Ce paradigme a également été exploité pour évaluer des personnes ayant une pathologie neurologique. McFadyen et al. (soumis) ont noté que c'est la maladie de Parkinson qui a la plus retenu l'attention suivie de la maladie d'Alzheimer, des accidents vasculaires cérébraux et des troubles cognitifs légers.

Il a également été montré que plus la combinaison de tâches se complexifiait plus les personnes âgées effectuaient des erreurs au niveau moteur alors que les sujets jeunes faisaient plus d'erreurs cognitives lorsque les tâches se complexifiaient. De son côté, Muhaidat et al. (2013), après avoir effectué 48 combinaisons différentes de doubles tâches incluant des tâches cognitives et motrices diverses, conclut que la combinaison utilisée serait importante puisque selon les tâches utilisées, la priorisation de la tâche motrice ou cognitive se ferait différemment selon le risque de chute qui y est associée.

L'utilisation de la double-tâche chez les personnes ayant subi un TCC a seulement débuté dans les 10 dernières années et le nombre d'études publiées (McFadyen et al, accepté) est beaucoup moindre par rapport aux autres populations. La littérature se concentre également davantage sur les TCCL avec très peu d'études sur les TCC modérés ou sévères. Il existe également très peu de littérature sur les enfants.

1.4.4. Double-tâche chez les enfants

La plupart des études qui se sont penchées sur la question de l'âge en double-tâche se sont concentrées sur les personnes âgées. Très peu d'études se sont penchées sur les enfants et encore moins sur l'âge auquel une personne atteint la maturité quant à l'exécution d'une double-tâche. Au niveau moteur, l'âge d'acquisition des différentes habiletés motrices serait environ sept ans (Malina & Bouchard, 2004).

Par contre, McFadyen, Malouin, & Dumas (2001) ont montré que les ajustements anticipatoires locomoteurs ne sont pas encore matures à l'âge de neuf ans. Berard et Vallis (2006) ont également montré que lors de l'enjambement de deux obstacles consécutifs, les enfants de sept ans sont plus précautionneux et doivent faire un ajustement du placement de leur pied pour l'enjambement du deuxième obstacle comparativement à de jeunes adultes.

D'un autre côté, la maturité au niveau de la cognition se ferait jusqu'à l'âge de 21 ans (Turkstra, 2000). Anderson, Anderson, Northam, Jacobs & Catroppa (2001) ont suggéré que les capacités attentionnelles continueraient d'évoluer jusqu'à l'âge de 15 ans. De plus, la planification et l'organisation à long terme ainsi que le contrôle de l'exécution de tâches complexes se développeraient au-delà de l'âge de 16 ans (Korkman, Lahti-Nuutila, Laasonen, Kemp, & Holdnack, 2012).

La majorité des études sur la double-tâche comparant des enfants à de jeunes adultes se sont attardées principalement aux jeunes de 6 à 11 ans (Boonyong, Siu, van Don kelaar, Chou, & Woollacott, 2012; Krampe, Schaefer, Lindenberger, & Baltes, 2011; Abbruzzese et al., 2014; Schaefer, Krampe, Lindenberger, & Baltes, 2008; Olivier, Cuisinier, Vaugoyeau, Nougier, & Assaiante, 2010; Schaefer, Jagenow, Verrel, & Lindenberger, 2015). Il a été montré que la marche est affectée davantage chez les enfants que chez les jeunes adultes en situation de double-tâche (Boonyong et al., 2012; Krampe et al., 2011; Abbruzzese et al., 2014). Olivier et al. (2010) ont suggéré que la maturité des ressources attentionnelles ne serait pas encore atteinte à l'âge de 11 ans. Schaefer et al. (2008; 2015) ont également montré que la priorisation de la tâche se ferait différemment chez des enfants de 7 à 11 ans que chez de jeunes adultes. On remarque qu'il existe une zone grise entre l'âge de 11 ans et de jeunes adultes. Howell, Osternig, & Chou (2015) sont dans les seuls qui se sont intéressés aux adolescents de 14-17 ans comparés à de jeunes adultes (18-27 ans; 20,3 ans) et se sont principalement concentrés sur l'effet des TCCL. Ils n'ont par contre montré aucune différence entre leurs groupes contrôles dans le déplacement du centre de masse (COM) médiolatéral et l'accélération antérieure maximale du COM.

1.4.5. Double-tâche chez les traumatismes crânio-cérébraux légers

Les études faites auprès des personnes ayant subi un TCCL commencent à montrer qu'il est possible de mesurer les altérations fonctionnelles présentes suite à un TCCL à l'aide du paradigme de double-tâche (Parker et al., 2006; van Donkelaar, Osternig, & Chou, 2006). Une augmentation du déplacement médiolatéral du centre de masse a été observée de 48 heures à quatre semaines post-TCCL chez de jeunes adultes lors de l'exécution d'une tâche de Stroop auditif ou d'une tâche mentale simple lors de la marche (Parker et al., 2006; Catena, van Donkelaar, & Chou, 2007). Howell, Osternig, & Chou (2013) ont récemment obtenu des résultats similaires chez des adolescents jusqu'à deux mois post-TCCL. Ils ont suggéré que le contrôle de la quantité de mouvement vers l'avant serait affecté suite à un TCCL. Ainsi, la fluidité du mouvement, associée au contrôle de l'accélération du corps, devrait aussi être affectée. Ils ont également montré des coûts de double-tâche pour la vitesse de marche plus élevés jusqu'à deux mois post-TCCL. Le coût de double-tâche est couramment utilisé dans la littérature portant sur la double-tâche. Cette mesure permet de quantifier l'effet de la double-tâche soit entre le changement relatif d'une mesure entre une situation en simple tâche et en double-tâche.

Le contrôle postural dynamique a été montré comme étant encore plus affecté lors de tâches locomotrices combinées à une tâche cognitive (Parker et al., 2006; Catena et al., 2009; Catena et al., 2007; Martini et al., 2011; Howell et al., 2013). En effet, les personnes ayant subi un TCCL montrent une diminution de la séparation antérieure de leur CoM et de leur centre de pression (CoP) lors de l'exécution d'une tâche mentale à la marche (Parker et al., 2006). Cette stratégie plus conservatrice, c'est-à-dire qui augmente la stabilité de la marche, montre que le maintien de l'équilibre est affecté suite à un TCCL.

Il a également été montré que les enfants et les adolescents ont de la difficulté avec des tâches d'équilibre qui demandent un haut niveau d'intégration de l'information sensorielle et de correction dynamique ce qui n'est pas détecté avec des tests standards (McCrory et al., 2013; Purcell & Society, 2012; Yogev-Seligmann et al., 2008). Des difficultés ont également été notées au niveau du temps de réaction visumoteurs et de corrections posturales chez des enfants et des adolescents au moins un mois post-TCCL (Gagnon et al., 1998; Gagnon et al., 2001; Gagnon,

Swaine, Friedman, & Forget, 2004). Howell et al. (2015) ont soulevé le point que les adultes et les enfants diffèreraient au niveau des déficits présents lorsqu'évalués en situation de double-tâche à la marche. En effet, ils ont montré une augmentation de la vitesse antérieure maximale du COM chez des adolescents 72 heures postblessures comparés à leur contrôle lors de l'exécution d'une tâche de Stroop auditif à la marche alors que de jeunes adultes ont diminué leur vitesse maximale antérieure du COM lorsque comparé à leur contrôle.

De plus, Fait et al. (2013) ont montré des altérations dans la performance locomotrice chez des athlètes un mois post-TCCL lorsque placés dans un environnement complexe demandant de la planification de mouvements tout en répondant à des stimuli visuels, et ce, malgré un retour à la normal de tests neuropsychologiques et la disparition de symptômes postcommotionnels. Ceci est important à noter puisque les recommandations actuelles pour la prise en charge des TCCL sont le retour graduel aux activités lors de la disparition des symptômes (McCrory et al., 2013). L'utilisation de contextes écologiques de double-tâche est alors importante à considérer dans la prise en charge des TCCL (Al-Yahya et al., 2011).

1.4.6. Double-tâche à la marche comme outil de suivi

Ce qui est considéré comme une récupération complète suite à un TCCL est de plus en plus remis en question puisque des déficits sont mis en évidence chez des gens qui étaient considérés comme ayant récupéré complètement (De Beaumont, Brisson, Lassonde, & Jolicoeur, 2007; Binder, Rohling, & Larrabee, 1997) surtout lorsque mis en situation de double-tâche (Fait et al., 2009; Fait et al., 2013). Une revue de la littérature sur l'utilisation de la double-tâche pour l'évaluation de déficits locomoteurs suite à un TCCL (Lee, Sullivan, & Schneiders, 2013) a, par contre, soulevé le fait que plus d'études sont nécessaires afin de démontrer son utilité clinique.

Les variables qui sembleraient les plus sensibles pour mettre en évidence les déficits chez des personnes ayant subi un TCCL seraient la vitesse de marche et le mouvement médiolatéral du tronc (Lee et al., 2013). Une autre revue qui s'est penchée sur l'utilité du paradigme de double-tâche dans la gestion des TCCL dans le sport a également soulevé le faible nombre d'études plus spécifiquement chez les

enfants/adolescents (Register-Mihalik et al., 2013). De façon générale, l'utilisation du paradigme de double-tâche semble plus efficace que les tâches isolées. La diversité dans les tâches utilisées d'une étude à l'autre a aussi été soulignée.

Le besoin de développer un test clinique incluant la double-tâche dans un contexte représentatif de la réalité se fait de plus en plus sentir. Par contre, comme souligné par Register-Mihalik et al. (2013), la diversité des tâches utilisées au travers des différentes études est grande. Les variables utilisées pour quantifier les dysfonctions exécutives mises en évidence sont aussi différentes d'une étude à l'autre. Ceci constitue un des principaux facteurs limitant la mise en place d'évaluations cliniques utilisant le paradigme de double-tâche comme outil de suivi pouvant aider à la décision de retour au jeu ou à la fonction.

Une étude pilote a exploré la sensibilité de certaines combinaisons de tâches locomotrices (marche à niveau; enjambement d'obstacle; descente d'une marche) et cognitives (tâche de Stroop; tâche de fluidité verbale; tâche mathématique) auprès de jeunes adultes ayant subi un TCCL. Elle a permis d'identifier l'enjambement d'obstacle comme étant une tâche sensible (Cossette, Ouellet, & McFadyen, 2014). Aucune tâche cognitive n'est ressortie comme étant plus sensible qu'une autre. Ceci amène l'hypothèse que peut-être le type de tâche cognitive utilisée simultanément chez de jeunes adultes aurait peu d'importance pourvu qu'il comporte une certaine demande attentionnelle affectant la performance motrice. De plus, la vitesse de marche et son coût de double-tâche seraient également de bonnes variables à utiliser (Cossette et al., 2014), du moins chez les adultes. Les participants TCCL ont montré une diminution de leur vitesse de marche par rapport aux participants sains. Cliniquement, ces résultats sont intéressants puisque les tâches et variables qui sont ressorties comme les plus sensibles sont facilement mesurables et reproductibles.

Cependant, la question de l'âge n'a pas été investiguée. Les enfants/adolescents sont ceux le plus touchés par les TCCL et encore peu d'informations sont présentes concernant leur récupération suite à un TCCL. Par exemple, il n'est pas clair si les mêmes types d'altérations à la marche sont présents chez les enfants/adolescents après un TCCL.

1.5. Objectifs

L'objectif de ce projet est d'identifier la combinaison de tâches cognitives et locomotrices la plus sensible dans un contexte de navigation en double-tâche pour différencier des adolescents ayant subi un TCCL et des adolescents sains. L'identification des mesures locomotrices les plus sensibles dans ce même contexte fait également partie de l'objectif de ce projet.

1.6. Hypothèses

Il est attendu que les sujets TCCL vont marcher plus lentement et vont diminuer leur fluidité du mouvement plus que les sujets contrôles en situation de double-tâche. Les combinaisons de tâches locomotrices et cognitives trop exigeantes (avec une grande demande attentionnelle et en équilibre dynamique) ou trop faciles (impliquant des tâches avec une demande attentionnelle minimale, plus automatiques) ne devraient pas montrer les différences attendues entre les groupes. Il est également attendu que les sujets TCCL vont montrer des coûts de double-tâche plus élevés en comparaison avec les sujets contrôles lors des situations de double-tâche par rapport aux situations de simple tâche pour les mêmes combinaisons pas trop exigeantes ou faciles.

Chapitre 2 : Méthodologie

Ce projet fait partie d'une étude plus large comprenant une cohorte de personnes de 10 à 30 ans ayant subi ou non un TCCL. Ce projet a été approuvé par le comité d'éthique à la recherche de l'Institut de réadaptation en déficience physique de Québec (IRDPQ) et du centre hospitalier universitaire (CHU) de Québec.

2.1. Population et recrutement

2.1.1. Recrutement de sujet ayant subi une commotion cérébrale

Les participants ont été recrutés par le biais d'annonces publiques, d'équipes sportives locales, de cliniques privées, d'un centre de réadaptation et des salles d'urgence d'hôpitaux. Les sujets devaient avoir subi une commotion cérébrale dans les 2-15 dernières semaines. Le diagnostic, s'il n'avait pas déjà été reçu en contexte médical, était confirmé grâce à une entrevue téléphonique réalisée par un professionnel de la santé. Cette entrevue consistait en l'histoire de l'accident incluant le résultat de Glasgow au moment de l'accident si connu, l'événement lui-même, les symptômes postaccidents et actuels, les examens médicaux passés, les diagnostics reçus et les traitements reçus. La définition du TCCL de l'Organisation Mondiale de la Santé (Kristman et al., 2014) a été employée.

2.1.2. Recrutement de sujets contrôles

Les sujets contrôles étaient également recrutés par le biais d'annonces publiques. Ils devaient n'avoir aucune histoire de TCCL dans les deux dernières années. Ils étaient exclus s'il répondait de façon affirmative ou incertaine lorsqu'on leur demandait s'il avait expérimenté les symptômes suivants après avoir reçu un coup à la tête ou au visage dans les deux dernières années : maux de tête, nausée et/ou vomissement, étourdissement, perte de mémoire, difficulté de concentration et perte de conscience. Ils étaient également exclus s'ils avaient une histoire de plus d'une commotion cérébrale selon l'Ohio State University TBI Identification Method-Questionnaire (Corrigan, & Bogner, 2007).

2.1.3. Critères d'inclusion pour tous les participants

La tranche d'âge du début de l'adolescence (10-15 ans) a été ciblée pour ce mémoire. Tous les participants devaient être capables de suivre des instructions écrites et orales, ne faire aucun abus de substances confirmé par un clinicien (si

impliqué dans le recrutement) ou par le participant lui-même à l'heure actuelle, n'avoir aucun problème musculosquelettique, neurologique ou cognitif qui pourrait interférer avec sa participation au projet et ne devait pas prendre de médicaments qui interfèrent avec le contrôle moteur ou l'état cognitif. Ces critères étaient vérifiés lors de l'entrevue téléphonique. De plus, les sujets devaient avoir une acuité visuelle normale ou corrigée à normale vérifiée par l'échelle visuelle de Snellen.

2.2. Devis expérimental et protocole

Afin de répondre à notre objectif, une étude de groupe comparative a été utilisée.

2.2.1. Procédure

Dans le cadre d'une plus grande étude, les participants effectuaient deux visites au laboratoire, soit une visite pour des tests cliniques neuropsychologiques (attention, fonctions exécutives, etc.) et physiques (équilibre, agilité, etc.) et une visite pour une séance d'expérimentation en laboratoire (double-tâche à la marche). Dans ce mémoire, seuls les résultats de la séance d'expérimentation en laboratoire seront présentés. L'assentiment des enfants et le consentement écrit des parents ont été obtenus pour tous les sujets lors de leur arrivée au laboratoire à la première visite. Les symptômes postcommotionnels pour le groupe ayant un TCCL ont été évalués avec le *Rivermead postconcussion Symptom Questionnaire* (King, Crawford, Wenden, Moss, & Wade, 1995) lors des deux rencontres en laboratoire. Ce questionnaire consiste en une liste de 16 symptômes cotés sur une échelle de 0 (jamais éprouvé) à 3 (est un problème sévère) pour les 24 dernières heures. Il était également complété par le groupe de sujets contrôles pour obtenir des données de base. Il n'y avait aucun ordre prérequis pour les deux rencontres. Les participants pouvaient effectuer soit la session expérimentale de double-tâche à la marche ou celle des tests cliniques en premier.

2.2.1.1. Session de double-tâche à la marche

Lors de leur arrivée au laboratoire, des instructions générales étaient données au participant. Ensuite, les mesures anthropométriques étaient prises (poids, taille, longueur et largeur du tronc). L'échelle visuelle de Snellen était également effectuée pour vérifier l'acuité visuelle des sujets. Ce test est effectué à une distance de 3 mètres et un score de 20/20 devait être obtenu pour valider l'acuité visuelle normale ou corrigée à normale avec des lentilles. Afin d'obtenir des données de base, le test

clinique de la fluidité verbale (Delis, Kaplan & Kramer, 2001) et le test d'interférence de mots de couleur (sous-test de la batterie de tests neuropsychologiques D-KEFS évaluant l'attention, la vitesse de traitement d'informations, l'inhibition et la flexibilité; Stroop) (Delis et al, 2001) étaient effectués. La tâche de Stroop, telle que présentée lors des essais de marche, et un essai de 15 secondes de la tâche mathématique étaient également complétés en position assise. Ces mesures de base étaient faites de nouveau à la fin de tous les essais de marche afin de quantifier l'effet d'apprentissage.

2.2.1.1.1. Préparation du participant

Quatre triades de marqueurs réfléchissants étaient placées sur la tête, le tronc et les pieds du sujet. Celle de la tête était fixée à l'aide d'un casque. Des marqueurs réfléchissants individuels étaient placés sur le bout des pieds, les 5^e métatarses, les talons, la fourchette sternale, les articulations gléno-humérales et les deux articulations temporomandibulaires afin de calibrer les triades de marqueurs réfléchissants par rapport à ces points anatomiques. (Vicon Motion Systems Ltd., Oxford, UK). Pour ce faire, un essai de 2 secondes avec le sujet en position debout avec les bras le long du corps, les pieds à la largeur des épaules et la tête vers l'avant était complété. Un microphone sans fil était porté par le sujet afin d'enregistrer les réponses verbales.

2.2.1.1.2. Tâches cognitives

L'expérimentation comprenait quatre conditions de tâches cognitives (aucune tâche cognitive, tâche de Stroop (ST), tâche de fluidité verbale (VF) et tâche mathématique (MATH)). La tâche de fluidité verbale consistait à nommer le plus de mots possible débutant par une lettre spécifique tout en respectant les règles suivantes : pas de noms d'endroit, de personnes, de chiffres et toujours nommer des mots différents. Le sujet devait commencer à marcher lorsque l'évaluateur énonçait la lettre en question tout en débutant à nommer le plus de mots, le plus rapidement possible. La tâche de Stroop consistait en la projection sur un écran des mots «VERT», «ROUGE» et «BLEU» en une couleur d'encre (vert, rouge ou bleu) autre que celle indiquée par le mot écrit. Les mots étaient disposés selon deux colonnes de quatre mots. On demandait au sujet de commencer à marcher lorsque les mots apparaissaient à l'écran et de nommer le plus de mots, le plus rapidement possible. La tâche mathématique consistait à compter à rebours par 2 à partir d'un nombre

donné par l'évaluateur. Le sujet devait débiter à marcher lorsque le chiffre était nommé et énoncer le plus de nombres le plus rapidement possible sans faire d'erreur.

2.2.1.1.3. Tâches locomotrices

Les trois tâches locomotrices consistaient en marcher à niveau sur 8 mètres, marcher 8 mètres en enjambant un obstacle de 15,0 cm de hauteur et de 2 cm de profondeur placé à 4 mètres de la position de départ et marcher 8 mètres en enjambant un obstacle de 15,0 cm de hauteur et de 15,0 cm de profondeur placé à 4 mètres de la position de départ. Pour toutes les conditions, on demandait au sujet de marcher à une vitesse naturelle et confortable.

Chacune des tâches locomotrices était effectuée en combinaison avec chacune des conditions de tâches cognitives. Chaque combinaison possible était reprise quatre fois et chacune des séances débutait par 4 essais de marche à niveau sans tâche cognitive pour un total de 52 essais. Tous les essais étaient effectués selon trois blocs correspondant aux trois tâches locomotrices et l'ordre des blocs était déterminé aléatoirement pour tous les sujets. Avant chacun des essais, des consignes étaient données au sujet par rapport à quelle tâche cognitive il devait effectuer. Pour les deux premiers essais d'une même tâche cognitive, des instructions complètes étaient données et pour les essais suivants des instructions plus brèves étaient données. Aucune priorisation n'était suggérée aux participants, mais on leur demandait de performer au meilleur de leur habileté pour les deux tâches effectuées (i.e. : marcher à une vitesse confortable et constante et de répondre le plus rapidement possible).

2.3. Analyse

2.3.1. Données cinématiques

Les données cinématiques en 3-D étaient collectées avec le logiciel Vicon, Nexus à une fréquence d'échantillonnage de 100 Hz. Le mouvement des pieds, du tronc et de la tête était enregistré par neuf caméras (Vicon, Nexus) disposées dans le laboratoire de façon à couvrir une surface de marche d'environ 8 mètres. Le logiciel Vicon était utilisé pour vérifier que chacun des marqueurs était bien identifié.

Certains marqueurs pouvaient être perdus pendant une courte période de temps lors de l'enjambement de l'obstacle dépendamment de la stratégie motrice que le sujet utilisait. Une interpolation (type *spline* cubique) a été utilisée au besoin pour les données manquantes à l'aide du logiciel Vicon, Nexus. Pour l'analyse biomécanique, six pas de tout l'essai total étaient analysés soit quatre pas d'approche avant l'obstacle et les deux pas d'enjambement de l'obstacle. Pour les essais sans obstacle, six pas étaient aussi analysés correspondant au même espace dans l'environnement que les essais avec obstacle. Les variables étaient analysées selon quatre phases différentes durant l'approche soient : l'approche 1 (l'avant-dernière foulée effectuée avant l'obstacle ou la marche), l'approche 2 (la dernière foulée effectuée avant l'obstacle ou la marche), l'enjambement lead (la foulée du premier pied qui traverse l'obstacle ou la marche) et l'enjambement trail (la foulée du deuxième pied qui traverse l'obstacle ou la marche). Toutes les données étaient filtrées avec un filtre double passe de type Butterworth avec une fréquence de coupure passe-bas de 6 Hz traités dans un logiciel maison sur Matlab.

2.3.2. Variables dépendantes

Les variables biomécaniques mesurées étaient la vitesse de marche, la fluidité du mouvement et le coût de double-tâche (CDT) pendant la performance des tâches motrices et cognitives respectivement. La vitesse de marche a été calculée par rapport à la vitesse de déplacement du tronc dans le plan antéro-postérieur. La fluidité du mouvement a été calculée par rapport au nombre de fois que l'accélération du tronc en direction antéro-postérieure franchissait le point 0. Le CDT pendant les tâches motrices représente le changement relatif entre une situation avec obstacle vs sans obstacle. Il était calculé de la façon suivante :

$$\frac{\text{Variable } x_{obs1 \text{ ou } obs2}}{\text{Variable } x_{marche \text{ à niveau}}}$$

Pour ce qui est du CDT pendant les tâches cognitives, il s'agit du changement relatif d'une variable prise pour un même environnement physique avec et sans tâche cognitive. Il était calculé de la façon suivante :

$$\frac{\text{Variable } x_{FV,STR,MATH}}{\text{Variable } x_{sans \text{ tâche cognitive}}}$$

Le placement du pied par rapport à l'obstacle faisait également partie des variables analysées. Quatre variables différentes découlaient du placement du pied par rapport à l'obstacle soit : la proximité du pied avant l'obstacle (distance entre le bout du dernier pied à franchir l'obstacle lorsque stable au sol et le début de l'obstacle), la proximité du pied après l'obstacle (distance entre le talon du premier pied à franchir l'obstacle lorsque stable au sol et la fin de l'obstacle), le dégagement de chacun des pieds par rapport à l'obstacle (distance verticale entre le bout du pied et le point le plus proche de l'obstacle).

2.3.3. Statistiques

Des modèles linéaires généralisés (SPSS, version 22; GEE) ont été utilisés afin de comparer la moyenne de la vitesse de la marche, de la fluidité de la marche ainsi que le coût de double-tâche pendant les tâches motrices et cognitives. Les moyennes des données de placement du pied par rapport à l'obstacle (proximité; dégagement) ont également été comparées à l'aide de GEE. Des comparaisons avec groupes pairés ont été obtenues à l'aide des modèles linéaires généralisés afin d'identifier les combinaisons de tâches qui différencient davantage les deux groupes. Le niveau de signification était établi à 0,05.

Chapitre 3 : Revealing executive dysfunctions following an mTBI in early adolescents with locomotor-cognitive dual-tasks

Le présent chapitre comporte un article scientifique à soumettre à la revue *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*.

3.1. Résumé

Objectif: D'identifier les combinaisons de tâches locomotrices et cognitives ainsi que les variables qui différencient des jeunes adolescents ayant subi un TCCL à des jeunes adolescents sains.

Devis: Étude comparative.

Environnement: Centre de réadaptation.

Participants: Échantillon volontaire (N=27) de jeunes adolescents ayant subi un TCCL (n=14) (6 filles; âge, 12.8 ± 1.6 ans) et un groupe comparatif (n=13) de jeunes adolescents sains et sans problème neurologique (5 filles; âge, 13.0 ± 1.6 ans).

Interventions: Non applicable.

Mesures principales: Moyenne de la vitesse de marche (m/s) et de la fluidité (nombre de croisement au point zéro de l'accélération antéro-postérieure du tronc) et le coût de double-tâche (CDT) pendant les tâches motrices et cognitives. La proximité et le dégagement du pied par rapport à l'obstacle (cm) ont également été analysés.

Résultats: Aucun effet de groupe n'a été trouvé pour la vitesse de marche. Un effet de groupe a seulement été montré pour le CDT moteur pour la fluidité, spécifiquement lorsqu'une interférence visuelle était impliquée (tâche de Stroop) et encore plus quand la demande au niveau de l'équilibre dynamique augmentait avec la profondeur de l'obstacle. Des analyses post-hoc ont permis de montrer des différences entre les groupes dans la fluidité lors de la planification de l'enjambement d'obstacle lorsque l'obstacle mince était combiné à la tâche de fluidité verbale et que l'obstacle profond était combiné à aucune tâche cognitive. Aucune différence entre les groupes n'a été trouvée pour le placement et le dégagement du pied par rapport à l'obstacle. La fluidité a également montré des différences entre les groupes pour la marche à niveau en situation de double-tâche.

Conclusions: Ces résultats suggèrent que la fluidité est plus sensible que la vitesse de marche pour identifier des dysfonctions exécutives chez de jeunes adolescents ayant subi un TCCL. Le CDT moteur de la fluidité impliquant une interférence visuelle semble avoir du potentiel pour évaluer des jeunes adolescents post-TCCL ainsi que la fluidité lors d'une double-tâche à la marche sans obstacle. Ces résultats aident à diriger les recherches futures sur l'évaluation clinique utilisant la double-tâche à la marche post-TCCL chez les adolescents.

3.2. Article

Revealing executive dysfunctions following an mTBI in early adolescents with locomotor-cognitive dual-tasks

Cossette, I.^{1,2}, Gagné, M.-E.^{1,3}, Ouellet, M.-C.^{1,3}, Fait, P.⁴, Gagnon, I.⁵, Sirois, K.^{1,3}, Blanchet, S.¹, LeSage, N.⁶, McFadyen, BJ^{1,2}

¹Center for Interdisciplinary Research in Rehabilitation and Social Integration (CIRRS), IRDPQ, Quebec City, Canada

²Department of Rehabilitation, Faculty of Medicine, Laval University, Quebec City, Canada

³School of psychology, Faculty of Social Sciences, Laval University, Quebec City, Canada

⁴Department of Human Kinetics Sciences, Université du Québec à Trois-Rivières, Canada

⁵School of Physical and Occupational Therapy, Faculty of Medicine, McGill University, Montreal, Canada

⁶Centre hospitalier affilié universitaire de Québec, Enfant-Jésus Hospital, Trauma Research Unit, Quebec City, Canada

Corresponding Author:

Bradford J. McFadyen, PhD

CIRRS-IRDPQ

525 Hamel, Québec, Qc, Canada, G1M 2S8

Email: brad.mcfadyen@rea.ulaval.ca

Tel: 418-529-9141 ext. 6584, Fax: 418-529-3548

Abstract:

Objective: To identify the sensitive combinations of locomotor and cognitive tasks as well as variables differentiating children in early adolescence with an mTBI from those without.

Design: Group comparison study.

Setting: Rehabilitation facility.

Participants: Volunteer sample (N=27) of children in early adolescence with mTBI (n=14) (6 girls; age, 12.8 ± 1.6 yrs; 1.60 ± 0.08 m) and a comparison group (n=13) of healthy early adolescents without neurologic problems (5 girls; age, 13.0 ± 1.6 yrs; 1.62 ± 0.11 m).

Interventions: Not applicable.

Main Outcome Measures: Mean gait speed (m/s) and gait fluidity (number of zero crossing of anterior-posterior trunk acceleration) and dual-task costs (DTC) in cognitive and motor conditions. Foot proximity to the obstacle (cm) and obstacle clearance (cm) were also analysed.

Results: No group effects were found for gait speed. Group effects were found only for motor DTC in gait fluidity, more specifically when the Stroop task was used and more so when the dynamic equilibrium demand increased with obstacle depth. Post-hoc analyses also showed differences between groups in gait fluidity in the planning of obstacle avoidance in the narrow obstacle combined with the verbal fluency task and the deep obstacle with no cognitive task. No differences between groups were found in foot placement or obstacle clearance. Gait fluidity also showed differences between groups in level walking in dual-task situations.

Conclusions: The present results suggest that gait fluidity is a more sensitive variable than gait speed for revealing executive dysfunction following mTBI sustained in early adolescence. Motor DTC in gait fluidity involving visual interference appears to show potential in assessing children in early adolescence following an mTBI. Assessing dual-task walking (DTW) in level walking also seems to show potential. These results provide direction for future research on clinical assessment using DTW post-mTBI in adolescents.

Key words: Concussion, Dual-task, Gait, Return-to-function, Adolescent

Introduction

Mild traumatic brain injury (mTBI) accounts for 80-90% of all TBIs (Langlois, Rutland-Brown, & Thomas, 2004). Despite an increase in public interest and research over the past few years, the management of mTBI is still challenging and its evolution still misunderstood (Stoller et al., 2014). Most mTBIs occur during youth and young adulthood (Pickett, Simpson, & Brison, 2004) and represent 8.9% of all injuries in high school sports (Noble & Hesdorffer, 2013).

In addition to being more at risk for mTBI, adolescent children recover differently than adults (Foley, Gregory, & Solomon, 2014; Howell, Osternig, & Chou, 2015). Recovery is complicated because cognitive and motor skills mature at different rates. Basic motor skills like jumping, catching, and running become more adult-like around the age of seven years (Malina & Bouchard, 2004). Locomotor anticipatory adjustments have been shown to be clearly present at the age of nine years (McFadyen, Malouin, & Dumas, 2001) although continue maturing beyond. On the other hand, certain aspects of cognition continue to mature until approximately 21 years (Turkstra, 2000). More specifically, a rapid development of neurocognitive functioning is known to occur between the ages of five and nine (Korkman, Lahti-Nuuttila, Laasonen, Kemp, & Holdnack, 2012) after which development continues at a slower pace. Long-term planning, organizing and controlled execution of complex tasks continue to mature beyond sixteen years of age (Korkman et al., 2012). Attentional capacities can be more mature in adolescents over fifteen years and older (Anderson, Anderson, Northam, Jacobs, & Catroppa, 2001) although probably variable. Therefore, the consequences of an mTBI for children may be different due to the fact that their brains are still maturing.

Current guidelines for the evaluation of mTBIs in adults and adolescents recommend the use of brief neuropsychological batteries, tests of static equilibrium, and the assessment of symptoms (McCrory et al., 2013; Giza et al., 2013; Harmon et al., 2013). Deficits portrayed from such measures have been shown to return to normal in about seven to ten days post-injury in the majority of cases (McCrea et al., 2003; Broglio & Puetz, 2008; McCrory et al., 2013). Traditionally, balance and cognitive functions are assessed separately, yet these assessments which somewhat “isolate” different types of functions are not always sensitive enough to show anomalies

following an mTBI (Catena, van Donkelaar, & Chou, 2011; Fait, McFadyen, Swaine, & Cantin, 2009; Fait, Swaine, Cantin, Leblond, & McFadyen, 2013). Therefore, Guskiewicz and colleagues have highlighted the importance of more comprehensive assessments in order to increase the sensitivity to more subtle sequelae after mTBI (Guskiewicz & Register-Mihalik, 2011; Register-Mihalik, Littleton, & Guskiewicz, 2013). For example, deficits have been shown in dynamic postural control while stepping over an obstacle days (Parker, Osternig, van Donkelaar, & Chou, 2006) and even months after injury (Martini et al., 2011). These problems are even more obvious when a cognitive task is performed simultaneously to the locomotor task (Parker et al., 2006; Catena, van Donkelaar, & Chou, 2007; Catena, van Donkelaar, & Chou, 2009; Martini et al., 2011; Howell, Osternig, & Chou, 2013).

Walking is an activity of daily life that naturally taps into sensorimotor (eg.: balance, visual scanning, locomotor adaptations) and cognitive (eg.: planning, attention, memory) domains. Over the last 15 years, studies on dual-task walking (DTW) have focused on older adults (e.g. walking while talking or performing a mental task) and different neurologic populations, particularly Parkinson's Disease, to assess the risk of falling (Al-Yahya et al., 2011; Woollacott & Shumway-Cook, 2002; Yogev-Seligmann, Hausdorff, & Giladi, 2008). More recently, studies on residual deficits following an mTBI using the DTW paradigm have shown residual problems well after the injury. For example, greater medio-lateral center of mass (CoM) displacements have been shown 30 days post-mTBI in young adults during DTW (Parker et al., 2006). Fait et al. (2013) have shown that, even after standard neuropsychological testing and symptoms had returned to normal, elite athletes with TBI tested at around 30 days post-injury showed deficits in their locomotor performance when exposed to a complex environment demanding attentional resources and planning.

The utility of a clinical test using DTW for mTBI assessment is thus becoming more and more evident, yet the exact and optimal modalities of such a clinical protocol still need to be explored. Indeed, there is a large diversity of tasks used across studies on DTW assessment following an mTBI, and this represents a limit to its use for clinical assessment (Register-Mihalik et al., 2013). In terms of potential indicators, walking speed and medio-lateral displacement of the trunk appear to be good measures to use following an mTBI in young adults (Cossette, Ouellet, & McFadyen,

2014; Lee, Sullivan, & Schneiders, 2013). Speed is certainly easier to directly measure in the clinic than trunk movement. In their study exploring the level of sensitivity of different combinations of locomotor (level walking, stepping over an obstacle, stepping down a step) and cognitive (Stroop task, verbal fluency, arithmetic task) tasks in adults, Cossette et al. (2014) identified obstacle avoidance as a sensitive task with walking speed and its dual-task cost (DTC) as sensitive gait measures. However, whether this effect is present in younger persons is still not known.

Recent reviews on the utility of DTW assessments following an mTBI (Lee et al., 2013; Register-Mihalik et al., 2013) have highlighted the scarcity of studies conducted specifically in children and adolescents. Howell et al. (2013) have observed greater medio-lateral CoM displacement in adolescents (aged 14 to 17 years) up to two months post-mTBI. They suggested that the control of forward momentum was affected and that this effect differed depending on the task complexity. Therefore, gait fluidity, which is associated with changes in momentum and directly related to the acceleration of the body, should also be affected following an mTBI. Gagnon and colleagues (Gagnon, Forget, Sullivan, & Friedman, 1998; Gagnon, Friedman, Swaine, & Forget, 2001; Gagnon, Swaine, Friedman, & Forget, 2004) have also highlighted deficits in visuomotor reaction times and dynamic postural control in children and adolescents one month post-injury.

Few studies have looked at DTW in healthy adolescents. Olivier, Cuisinier, Vaugoyeau, Nougier, & Assaiante (2010) suggested that attentional resources during DTW were not yet mature at the age of eleven. Boonyong, Siu, van Donkelaar, Chou, & Woollacott (2012) grouped children from seven to sixteen years of age together and showed that attentional resources during gait increased with age. Howell, Osternig & Chou (2015) showed that healthy middle aged adolescents (14 to 17 years old) did not differ in their COM movement during walking while performing an auditory Stroop task from healthy young adults (average age 20.3 years).

Thus, DTW has shown its effectiveness in revealing executive dysfunctions following an mTBI, whereas isolated assessments of cognitive or motor functions generally do

not. The ideal combinations of tasks to be used for such assessments are still not known due to the diversity of tasks found across studies. There is also a specific lack of evidence for adolescence, particularly early adolescence, when locomotor and cognitive capacities are still developing at a rapid rate (George & Alexander, 1993; Anderson et al., 2001). Therefore, the specific purpose of this study was to examine gait parameters in adolescent healthy controls and with mTBI during DTW and to identify combinations of sensorimotor and cognitive tasks which are sensitive to differentiating the two groups. It was hypothesized that participants with mTBI would walk slower and decrease their fluidity more than control participants in DTW situations that are neither not too challenging (with a large attentional and executive load) nor too easy (involving largely automatized tasks such as level walking). It was also hypothesized that mTBI participants would show larger dual-task costs (DTC) than control participants in dual-task situations compared to simple task.

Methodology

Participants

As part of a larger study, a cohort of 27 children in early adolescence (EA) from 10 to 15 years of age participated in this project which was approved by the Research Ethics Board of the Institut de Réadaptation en Déficience Physique de Québec. Early adolescence was defined according to sub-divisions suggested in the literature where periods of adolescence are commonly referred to as early (10 to 14 or 15 years), middle (15 or 16 to 18 years) and late adolescence (18 to 21 years) (WHO, 1986; Hurd, 2005). The sample was composed of 13 healthy EA (12.8 ± 1.6 yrs; 1.62 ± 0.11 m) and 14 EA (13.0 ± 1.6 yrs; 1.60 ± 0.08 m) who had previously sustained an mTBI (see Table 1.) 2 to 15 weeks previously. The occurrence of mTBI was confirmed through a phone interview by recording the characteristics of the accident including the Glasgow coma scale score at the time of the injury (if known), the history of the event itself, symptoms reported immediately after the accident and at the time of the interview, medical consultations, and treatments received. The presence of other potential mTBI sustained in the past was also evaluated using a French version of the Ohio State TBI Identification Method-Questionnaire (Corrigan, & Bogner, 2007) which is a short structured interview designed to document the lifetime history of potential brain injuries. The latter was also used to verify that control participants had no known history of mTBI in the last 2 years.

All participants were required to be able to follow written and spoken instructions in French, have no self-reported current substance abuse, have no known musculoskeletal, neurologic, or cognitive problem (non mTBI-related for the latter) and not be taking any medication that could interfere with performance in the study. Participants were required to have normal or corrected-to-normal vision that was verified with the Snellen visual test.

Experimental procedure

Written consent was obtained for all participants upon their first visit to the laboratory. Post-concussion symptoms for the mTBI group were assessed using a modified version of the Rivermead Postconcussion Symptom Questionnaire (King, Crawford, Wenden, Moss, & Wade, 1995) for both visits. The control group (CTRL) also completed an adapted version of this questionnaire. As part of the larger cohort study, all participants performed a battery of neuropsychological and physical tests.

During experimentation in the gait laboratory, participants were asked to walk at a comfortable and constant pace in twelve different environmental conditions which involved three locomotor conditions and four cognitive conditions. The walkway was 8 m long for all tasks. The locomotor tasks were level walking (LEVEL) and two different obstructed walking tasks. Obstructed walking consisted of stepping over a narrow (NA) 15.0 cm high and 2.0 cm deep obstacle or a deep (DP) 15.0 cm high and 15.0 cm deep obstacle both placed 4 m in front of the starting position.

The four cognitive conditions consisted of performing either no cognitive task (NO), a modified Stroop task (St) (Delis, Kaplan & Kramer, 2001), a verbal fluency task (VFT) (Delis et al., 2001) or an arithmetic task (At). The Stroop task consisted of a list of eight colored words ("GREEN", "BLUE", "RED"; four per column) presented on a computer monitor and written in an incongruent ink color (e.g. the word BLUE presented in green). The 43.2 cm (17 in) monitor was placed on the floor at the end of the pathway. Participants were asked to name the color of the ink of each word as quickly as possible. The Verbal fluency task consisted of naming as many words as possible beginning by a letter chosen pseudo-randomly (letters with fewer choices of words according to letter frequency in the French language were avoided). The

arithmetic task consisted of counting backwards by 2 starting from a given random number.

Each locomotor condition was combined with each of cognitive condition. Every possible combination was repeated four times for a total of 48 analysed trials. Every session started with four trials of level walking with no cognitive task so that the participants could become familiarized with the environment. All subsequent locomotor conditions were blocked and the order of blocks was randomly assigned across participants. They were not instructed to prioritize either the locomotor or the cognitive task but rather were expected to perform at their best on both levels (i.e. keep a comfortable walking pace and responds as quickly and accurately as possible in the cognitive tasks)

Motion analysis

Kinematic data were collected using a motion analysis system (Vicon Motion Systems Ltd., Oxford, UK) with a frequency of 100 Hz. Four triads of reflective markers were placed on the head, trunk and feet of each participant. All marker data were low-pass filtered at 6 Hz with a double pass Butterworth filter. Specific anatomical references were digitized in order to estimate the position of the centre of mass (CoM) of the trunk, and the toe and the heel positions with respect to the marker triads.

Mean gait speed and fluidity, as well as DTC within motor and cognitive conditions were calculated from the trunk CoM movement. Gait speed was calculated from the antero-posterior speed of the trunk COM. Fluidity was calculated from the number of zero crossings for the antero-posterior acceleration of the trunk COM corresponding to changes between forward acceleration and deceleration. Foot clearance over the obstacle and foot proximity to the obstacle were also analysed. Obstacle clearance was calculated as the shortest vertical distance between the toe at the highest point of the obstacle at crossing for the lead (first foot to cross the obstacle) and the trail (second foot to cross the obstacle) feet. Obstacle proximity was calculated as the distance between the obstacle and the toe of the trail foot before the obstacle and the heel of the lead foot after the obstacle. DTC for the cognitive conditions was calculated as the ratio (in percent) of performance while completing a given cognitive

task divided by that for the single walking task for each locomotor condition. DTC for the motor conditions was the ratio of performance on a given obstacle task divided by that for level walking for each cognitive condition.

The variables were analysed throughout the whole trial (which included four steps before crossing to two steps following crossing, or same period for LEVEL) as well as for each of the four different strides making up this period including (see Fig. 1) : approach 1 (APP1; corresponding to the second to last stride before stepping over the obstacle), approach 2 (APP2; corresponding to the last stride before the obstacle), lead crossing (LC; stride of the first foot to step over the obstacle), and trail crossing (TC; stride of the second foot to step over the obstacle).

Statistical Analysis

A generalized linear model for repeated measures (GEE, SPSS, version 20) was used to compare means for gait speed, fluidity, foot clearance and foot proximity according to the four targeted strides and the whole trial. GEEs were used to compare DTC associated with cognitive and motor conditions for the whole trial from approach through clearance. Due to foot movements used by some participants involving added inversion to avoid obstacles, markers were sometimes hidden from the cameras and the measure of trail foot clearance was lost. When there were less than three trials for the same condition, data were processed as missing data. For the mTBI group this involved 3 participants for all NA and DP conditions; except DP/At were 4 participants were affected. For the CTRL group, 1 participant was affected for the NA/St, DP/NO and DP/VFt conditions. Post-hoc pairwise comparisons were completed to determine which combination of motor/cognitive factors showed significant differences. For all analyses, the significance level was set to $p=0.05$.

Results

Obstacle proximity and clearance

Obstacle proximity

Both lead and trail foot proximities showed main effects for Locomotor condition ($p<0.001$ for both feet) and Cognitive condition ($p=0.001$ for lead; $p=0.005$ for trail). Trail proximity also showed a Group by Locomotor by Cognitive condition interaction

($p=0.016$). Pairwise comparisons showed no significant differences ($p>0.05$) between groups however. In general, both groups placed their foot closer to the deeper obstacle while performing the VFt (see Table 2.).

Obstacle clearance

Both lead and trail clearances showed main effects only for Cognitive condition ($p<0.001$). In general, both groups had greater clearances when a cognitive task was performed simultaneously for trail clearance. The same was also found for lead clearance when the St and the At tasks were performed (see Table 2.).

Gait speed by phases

All phases showed main effects for Cognitive condition ($p<0.001$) and a Group by Locomotor by Cognitive condition interaction ($p<0.001$). However, for the lead crossing and trail crossing a Locomotor condition main effect was also found ($p=0.001$ and $p<0.001$ respectively). However, no significant pairwise comparisons were found for any conditions or phases ($p>0.05$) (see Fig. 2).

Gait speed for the whole trial

There was no main Group effect for mean gait speed ($p=0.504$). However, there were main effects for Cognitive condition ($p<0.001$) and Locomotor condition ($p=0.014$) as well as a Group by Locomotor by Cognitive condition interaction ($p<0.001$). In general, both groups slowed their gait speed when simultaneously performing a cognitive task. All participants slowed their gait speed more with the VFt and least with the St task. All participants also slowed their gait speed while stepping over both obstacles. No pairwise comparisons showed significant differences however ($p>0.05$) (see Fig. 3).

Fluidity by phases

APP1 and APP2 showed a Group by Locomotor by Cognitive condition interaction ($p<0.001$). In both APP1 and APP2, CTRL participants were significantly more fluid during NA_VFt ($p=0.010$ and $p=0.041$ respectively) and DP_NO ($p=0.010$ and $p=0.029$ respectively) conditions. However, lead crossing and trail crossing showed main effects for Locomotor condition ($p<0.001$) and a Group by Locomotor by Cognitive condition interaction ($p<0.001$). Lead crossing also revealed a main effect

for Cognitive condition ($p=0.003$). In general, participants were less fluid when they had to step over an obstacle and even more with the deeper obstacle. In both crossing phases, CTRL participants were found to be more fluid in LEVEL_VFt conditions ($p=0.023$ and $p=0.049$ respectively). In TC, LEVEL_NO ($p=0.014$) and LEVEL_St ($p<0.001$) conditions also showed the same significant differences between groups (see Fig. 4).

Fluidity for the whole trial

There was no main Group effect for mean fluidity when the whole trial was considered ($p=0.057$). Locomotor condition showed a main effect ($p<0.001$) and a Group by Locomotor by Cognitive condition interaction ($p=0.006$). In general, participants were less fluid when there was an obstacle to step over. CTRL subjects were also significantly more fluid than mTBI participants in the LEVEL_St ($p=0.006$), LEVEL_VFt ($p=0.027$) and LEVEL_At ($p=0.036$) conditions (see Fig. 3).

Gait speed DTC

There were significant Group by Locomotor by Cognitive condition interactions for both DTC during motor ($p=0.021$) and cognitive ($p<0.001$) conditions. DTC during cognitive conditions also showed a main effect of cognitive condition ($p<0.001$). In general, both groups slowed their gait speed more when a cognitive task was performed simultaneously with the greatest slowing seen for the VFt. However, there were no group differences found with post-hoc analyses (see Fig. 5).

Fluidity DTC

There was no main effect found for DTC during cognitive conditions. However, DTC during motor conditions showed a Group effect ($p=0.026$). In general, CTRL participants had greater motor DTC than mTBI participants. This difference was even larger when the St task was performed for both obstacles (NA_St; $p=0.024$ and DP_St; $p=0.002$) (see Fig. 5).

Discussion

The effects of DTW on gait performance relative to healthy control participants are believed to reflect executive dysfunctions since the load on planning and visual attention are increased. This is the first study to our knowledge to begin to explore

the sensitivity of different combinations of locomotor and cognitive tasks to reveal executive dysfunctions following an mTBI in early adolescence when compared with healthy controls. The present findings have shown that, although deficits are subtle, gait fluidity is affected in young adolescents having sustained an mTBI when they are placed in dual-task locomotor-cognitive conditions.

The present findings is in line with those of Howell et al. (2015) who showed that the control of forward momentum was affected in adolescents (although older than the present group) post-mTBI, particularly to accommodate dual tasking. Forward momentum control during gait relates directly to forward acceleration and deceleration defined here as gait fluidity. MTBI participants in the present work were particularly found to be less fluid during the first two approach phases before stepping over the narrow and deep obstacles when combined with either the VFt or the no cognitive task respectively. These two first approach phases represent the portion when the planning of locomotor adaptation is carried out (Patla, & Vickers, 1997; Mohagheghi, Moraes, & Patla, 2004) and could thus suggest less efficient planning during these phases after mTBI.

No differences were found in gait speed between groups for any combination of tasks. Thus, both groups were similarly affected in their gait speed by the addition of either obstacles or concurrent cognitive tasks. This finding differs from Cossette et al. (2014) who showed that young adults with mTBI showed slower gait speed during dual-tasking compared to healthy controls. Howell et al. (2015) suggested that adolescents recuperate differently than young adults following an mTBI. They specifically showed greater medio-lateral COM displacements through a two-month period for middle age adolescents with an mTBI compared to control participants. Yet, young adults with mTBI did not differ in their medio-lateral COM displacement with their control young adult participants two months post-injury. Thus, all of these findings highlight the fact that adolescents show different deficits than young adults following an mTBI and that their management should be adapted accordingly as suggested in other studies (DeMatteo et al., 2015; May, Marshall, Burns, Popoli, & Polikandriotis 2014).

Differences between groups during the actual execution of obstacle clearance (toe clearance heights and proximities) were not less obvious. Foot proximities were similar between groups and although mTBI participants had a tendency towards higher toe clearances, no differences were statistically significant. Therefore, our results suggest that adolescents who sustained an mTBI are more challenged in planning the execution of obstacle avoidance, but execute it in a similar manner to CTRL participants.

We hypothesized that compared to control participants, the mTBI group would show a decreased walking speed and fluidity for the DTW conditions that were not too challenging or too easy. This inverted U-shaped relationship in performance as noted in the literature (50) was observed according to the complexity of the different combination of tasks during obstacle avoidance. However, such a relationship was observed only for fluidity in the planning phase for both obstacle avoidance tasks. During these approach phases, the task combinations considered to be the least difficult were the narrow obstacle combined with either no cognitive task or the arithmetic task because the dynamic equilibrium and attentional demands were minimal. The tasks considered to be the most difficult were the deep obstacle combined with the Stroop task and the verbal fluency task because the dynamic equilibrium and attentional demands were higher. These more extreme categories of tasks, as expected, did not differentiate between groups. However, the obstacle that challenged dynamic equilibrium the least (NA) combined with the most difficult cognitive task (VFt) as well as the obstacle that challenged dynamic equilibrium the most (DP) combined with no cognitive task both differentiated groups. Yet, this relation was not observed when fluidity was calculated for the whole trial. Lövdén et al. (2007) have proposed that the relation of task complexity differs depending on which tasks are used and what population is studied. This could explain why the U-shaped relationship was observed only for the approach phases. Yet, the fact that the relationship with complexity of the tasks is not necessarily strong only highlights that deficits found following an mTBI are subtle and complex. There may be no one specific combination of variables across phases that are reliably sensitive to revealing deficits following mTBI in adolescents.

From a clinical point of view, results during the whole trial including the approach to and stepping over the obstacle may be easier for clinical assessment in order to extract one measure of general behavior. When looking across the whole trial, MTBI participants showed less fluidity during level walking in dual-task situations compared to CTRL participants. Interestingly, CTRL participants decreased their fluidity as dynamic equilibrium demands increased with obstacle avoidance, while this was not evident in mTBI participants regardless of the cognitive task used or the environmental constraint given. Participants with mTBI were already less fluid during level walking and they maintained this less fluid gait across tasks. Yogev-Seligmann, Hausdorff, & Giladi (2012) have suggested that anxiety and judgment would influence the prioritization given to simultaneous tasks (cognitive and motor). The fact that mTBI adolescents did not decrease their fluidity during obstacle avoidance could mean that they generally chose to use a more conservative strategy regardless of motor condition or that they do not adapt appropriately to the more complex environment. Parker et al. (2006) have shown that young adults with mTBI choose a more conservative strategy in relation to their dynamic equilibrium as measured by the separation between their center of pressure and their COM while performing a cognitive task while walking. In this study, mTBI participants also had a tendency (albeit not statistically significant) to maintain high clearances across all combinations of tasks as opposed to CTRL participants who tended to increase their clearance in dual-task situations only. However, this seemingly more cautious global strategy used by the adolescent mTBI participants was subtle since there were no group differences in toe clearances or gait speed.

CTRL participants also became increasingly less fluid as the dynamic equilibrium demand increased while performing the Stroop task which involves visual interference that is not part of the other two cognitive tasks. Visual cues are known to be key in planning obstacle avoidance (Patla et al., 1997; Mohagheghi et al., 2004). Therefore, CTRL participants are more affected in their motor DTC when a visual interference is involved, but mTBI participants did not change their fluidity even when visual interference should have had an effect. This could mean that the adolescents with mTBI may not judge risk as efficiently as CTRL participants who used a more conservative strategy when their dynamic equilibrium is challenged by crossing obstacles of different depths with visual interference. Assessing relative change

between different levels of challenges could be a good way to highlight subtle deficits following an mTBI.

This study has highlighted that executive function deficits following an mTBI in adolescents are subtle. While the present results do not yet point conclusively to a specific combination of tasks to be used in assessing executive dysfunction in early adolescence following an mTBI, they provide a direction for future research to take for the eventual development of clinical assessments. Fluidity, which could be measured for example, with portable accelerometers, appears to be an interesting variable. To help healthcare professionals make better decisions about return to function/play, further research might explore the use of individual baseline data comparing individuals' pre-mTBI behaviour collected, for example, before a sporting season to that observed after sustaining an mTBI. Another way to look at fluidity might be to measure relative changes between level walking and obstacle avoidance tasks, related to DTCs during motor conditions. If it is expected that visual interference should decrease fluidity as dynamic equilibrium demands increase, then deficits would be highlighted by not observing this expected behavior following an mTBI. Once again, this could be compared to individual baseline data. Obviously, these pre-post comparisons are easier to apply within a sporting context than for the general population. Given that this observed difference in relative DTC during motor conditions between groups was more obvious, perhaps normative data could be established as well. Future research is needed, and the results from the present study provide a direction for the eventual development of clinical assessments using DTW following an mTBI in early adolescence.

Young adults and adolescents recover differently. Comparing this work to very recent studies (Cossette et al., 2014; Howell et al., 2015) also appears to suggest different DTW deficits for adolescents. Nothing is yet known about when adolescents become adult-like in their ability to manage DTW. Differences between adolescent groups (i.e., early, middle and late) with respect to physical, cognitive and intellectual maturation, also needs more research. Knowing more about the effects of age in DTW and following mTBI will help to create more specific guidelines in the management of mTBI.

The present study is not without limitations. The heterogeneity of the mTBI group has to be considered: some of the participants were still symptomatic and some were not. Yet, it is interesting to note that group effects and interactions were still found. Also, a standard obstacle of one fixed height was used for all participants regardless of their own body heights. However, a post-hoc correlation was carried out between both foot placement and obstacle clearance data with subject heights and no significant relationship was found (range of R^2 were between -0.016 and 0.120, with p-values from 0.102 and 0.816). Children in early adolescence are in the middle of their cognitive development which has a different rate across individuals. The number of participants should thus be increased in the future which will also allow the ability to look more closely at age differences including middle and late adolescence.

In conclusion, these results suggest that fluidity could be a more sensitive variable than gait speed for detecting executive dysfunction in early adolescence following mTBI. DTC during motor conditions, in particular, may also have potential to differentiate adolescents who sustained an mTBI from healthy controls as participants with mTBI appear to show a more cautious walking strategy that is unchanged even in more complex environments. Dual-tasking in level walking compared with baseline data of individuals also could have potential to reveal executive dysfunctions following mTBI. Based on the limited literature to date, it appears that persons in early adolescence manifest their executive dysfunctions differently than young adults following an mTBI which highlights the importance to have age specific guidelines. The present findings provide a direction for future research on the development of clinical assessment tools using DTW following an mTBI.

Acknowledgements

We thank Guy St-Vincent, PEng, MSc, for technical assistance, Jean Leblond, PhD, for statistical consulting, Isabelle Lorusso for assistance in project management and Louise Gosselin (CHU de Québec), l'Institut de réadaptation en déficience physique de Québec and physiotherapy private clinics (Cortex Medicine and Rehabilitation; PCN, Physiotherapy and Sport Medecine)for helping with recruitment. This project was funded by the Canadian Institutes for Health Research.

References

Al-Yahya E, Dawes H, Smith L, Dennis A, Howells K, & Cockburn J. Cognitive motor interference while walking: a systematic review and meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev.* 2011; 35(3):715-28.

Anderson VA, Anderson P, Northam E, Jacobs R, & Catroppa C. Development of executive functions through late childhood and adolescence in an Australian sample. *Dev Neuropsychol.* 2001; 20(1):385-406.

Boonyong S, Siu KC, van Donkelaar P, Chou LS, & Woollacott MH. Development of postural control during gait in typically developing children: the effects of dual-task conditions. *Gait Posture.* 2012; 35(3):428-34.

Broglio SP & Puetz TW. The effect of sport concussion on neurocognitive function, self-report symptoms and postural control: a meta-analysis. *Sports Med.* 2008; 38(1):53-67.

Catena RD, van Donkelaar P, & Chou LS. Cognitive task effects on gait stability following concussion. *Exp Brain Res.* 2007; 176(1):23-31.

Catena RD, van Donkelaar P, & Chou LS. Different gait tasks distinguish immediate vs. long-term effects of concussion on balance control. *J Neuroeng Rehabil.* 2009; 6:25.

Catena RD, van Donkelaar P, & Chou LS. The effects of attention capacity on dynamic balance control following concussion. *J Neuroeng Rehabil.* 2011; 8:8.

Corrigan, J. D., & Bogner, J. Initial reliability and validity of the Ohio State University TBI Identification Method. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation.* 2007; 22(6):318–29.

Cossette, I., Ouellet, M.-C., & McFadyen, B. J. A Preliminary Study to Identify Locomotor-Cognitive Dual Tasks That Reveal Persistent Executive Dysfunction After Mild Traumatic Brain Injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2014; 95(8):1594-1597.

Delis, D. C., Kaplan, E., & Kramer, J. H. Delis-Kaplan Executive Function System. 2001. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.

DeMatteo C, Stazyk K, Giglia L, Mahoney W, Singh SK, Hollenberg R, Harper JA, Missiuna C, Law M, McCauley D, & Randall S. A Balanced Protocol for Return to School for Children and Youth Following Concussive Injury. *Clin Pediatr (Phila).* 2015; [Epub ahead of print]

Fait P, McFadyen BJ, Swaine B, & Cantin JF. Alterations to locomotor navigation in a complex environment at 7 and 30 days following a concussion in an elite athlete. *Brain Inj.* 2009; 23(4):362-9.

Fait P, Swaine B, Cantin JF, Leblond J, & McFadyen BJ. Altered Integrated Locomotor and Cognitive Function in Elite Athletes 30 Days Postconcussion: A Preliminary Study. *J Head Trauma Rehabil.* 2013; 28(4):293-301.

Foley C, Gregory A, & Solomon G. Young age as a modifying factor in sports concussion management: what is the evidence? *Curr Sports Med Rep.* 2014; 13(6):390-4.

Gagnon I, Forget R, Sullivan SJ, & Friedman D. Motor performance following a mild traumatic brain injury in children: an exploratory study. *Brain Inj.* 1998; 12(10):843-53.

Gagnon I, Friedman D, Swaine B, & Forget R. Balance findings in a child before and after a mild head injury. *J Head Trauma Rehabil.* 2001; 16(6):595-602.

Gagnon I, Swaine B, Friedman D, & Forget R. Visuomotor response time in children with a mild traumatic brain injury. *J Head Trauma Rehabil.* 2004; 19(5):391-404.

George, P.S., & Alexander, W.M. *The Exemplary Middle School* (2nd ed.). 1993. New York: Harcourt Brace Jovanovich.

Giza, C.C., Kutcher, J.S., Ashwal, S., Barth, J., Getchius, T.S., Gioia, G.A., Gronseth, G.S., Guskiewicz, K., Mandel, S., Manley, G., McKeag, D.B., Thurman, D.J., & Zafonte, R. Summary of evidence-based guideline update: evaluation and management of concussion in sports: report of the Guideline Development Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology* 80. 2013; 2250–2257.

Guskiewicz KM, & Register-Mihalik JK. Postconcussive impairment differences across a multifaceted concussion assessment protocol. *PM R.* 2011; 3(10 Suppl 2):S445-51.

Harmon KG, Drezner J, Gammons M, Guskiewicz K, Halstead M, Herring S, Kutcher J, Pana A, Putukian M, & Roberts W. American Medical Society for Sports Medicine. American Medical Society for Sports Medicine position statement: concussion in sport. *Clin J Sport Med.* 2013; 23(1):1-18.

Howell DR, Osternig LR, & Chou LS. Dual-task effect on gait balance control in adolescents with concussion. *Arch Phys Med Rehabil.* 2013; 94(8):1513-20.

Howell DR, Osternig LR, & Chou LS. Adolescents demonstrate greater gait balance control deficits after concussion than young adults. *Am J Sports Med.* 2015; 43(3):625-32.

Howell DR, Osternig LR, & Chou LS. Adolescents demonstrate greater gait balance control deficits after concussion than young adults. *Am J Sports Med.* 2015; 43(3):625-32.

Hurd, T.L. Nurturing children and youth: A developmental guidebook. Boston, MA: Unitarian Universalist Association of Congregations. 2005.

Huxhold O, Li SC, Schmiedek F, & Lindenberger U. Dual-tasking postural control: aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain Res Bull.* 2006; 69(3):294-305.

King NS, Crawford S, Wenden FJ, Moss NE, Wade DT. The Rivermead Post Concussion Symptoms Questionnaire: a measure of symptoms commonly experienced after head injury and its reliability. *J Neurol.* 1995; 242(9):587-92.

Korkman M, Lahti-Nuutila P, Laasonen M, Kemp SL, & Holdnack J. Neurocognitive development in 5- to 16-year-old North American children: a cross-sectional study. *Child Neuropsychol.* 2013; 19(5):516-39.

Langlois JA, Rutland-Brown W, & Thomas KE. Traumatic Brain Injury in the United States: Emergency Department Visits, Hospitalizations, and Deaths. Centers for Disease Control and Prevention: Atlanta. 2004.

Lee H, Sullivan SJ, & Schneiders AG. The use of the dual-task paradigm in detecting gait performance deficits following a sports-related concussion: A systematic review and metaanalysis. *J Sci Med Sport.* 2013; 16(1):2-7.

Lövdén M, Schaefer S, Pohlmeier AE, & Lindenberger U. Walking variability and working-memory load in aging: a dual-process account relating cognitive control to motor control performance. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci.* 2008; 63(3):P121-8.

Malina RM, & Bouchard C. *Growth, maturation, and physical activity.* 2004 (2nd ed.) Champaign, Ill: Human Kinetics.

Martini DN, Sabin MJ, DePesa SA, Leal EW, Negrete TN, Sosnoff JJ, & Broglio SP. The chronic effects of concussion on gait. *Arch Phys Med Rehabil.* 2011; 92(4):585-9.

May KH, Marshall DL, Burns TG, Popoli DM, & Polikandriotis JA. Pediatric sports specific return to play guidelines following concussion. *Int J Sports Phys Ther.* 2014; 9(2):242-55.

McCrea M, Guskiewicz KM, Marshall SW, Barr W, Randolph C, Cantu RC, Onate JA, Yang J, & Kelly JP. Acute effects and recovery time following concussion in collegiate football players: the NCAA Concussion Study. *JAMA.* 2003; 290(19):2556-63.

McCrory P, Meeuwisse W, Aubry M, Cantu RC, Dvořák J, Echemendia RJ, Engebretsen L, Johnston K, Kutcher JS, Raftery M, Sills A, Benson BW, Davis GA, Ellenbogen R, Guskiewicz KM, Herring SA, Iverson GL, Jordan BD, Kissick J, McCrea M, McIntosh AS, Maddocks D, Makdissi M, Purcell L, Putukian M, Schneider K, Tator CH, & Turner M. Consensus statement on concussion in sport: the 4th International Conference on Concussion in Sport held in Zurich, November 2012. *Br J Sports Med.* 2013; 47(5):250–8.

McFadyen BJ, Malouin F, & Dumas F. Anticipatory locomotor control for obstacle avoidance in mid-childhood aged children. *Gait Posture.* 2001; 13(1):7-16.

Mohagheghi AA, Moraes R, & Patla AE. The effects of distant and on-line visual information on the control of approach phase and step over an obstacle during locomotion. *Exp Brain Res.* 2004; 155(4):459-68.

Noble JM, & Hesdorffer DC. Sport-related concussions: a review of epidemiology, challenges in diagnosis, and potential risk factors. *Neuropsychol Rev.* 2013; 23(4):273-84.

Olivier I, Cuisinier R, Vaugoyeau M, Nougier V, & Assaiante C. Age-related differences in cognitive and postural dual-task performance. *Gait Posture.* 2010; 32(4):494-9.

Parker TM, Osternig LR, P VAND, & Chou LS. Gait stability following concussion. *Med Sci Sports Exerc.* 2006; 38(6):1032-40.

Patla AE, & Vickers JN. Where and when do we look as we approach and step over an obstacle in the travel path? *Neuroreport.* 1997; 8(17):3661-5.

Pickett W, Simpson K, & Brison RJ. Rates and external causes of blunt head trauma in Ontario: analysis and review of Ontario Trauma Registry datasets. *Chronic Dis Can.* 2004; 25(1):32-41.

Register-Mihalik JK, Littleton AC, & Guskiewicz KM. Are Divided Attention Tasks

Useful in the Assessment and Management of Sport-Related Concussion?
Neuropsychol Rev. 2013; 23(4):300-13.

Stoller J, Carson JD, Garel A, Libfeld P, Snow CL, Law M & Frémont P. Do family physicians, emergency department physicians, and pediatricians give consistent sport-related concussion management advice? *Can Fam Physician.* 2014; 60(6): 548, 550-2.

Turkstra LS. Should my shirt be tucked in or left out? The communication context of adolescence. *Aphasiology.* 2000; 14(4):349-364.

World Health Organisation. *Young People's Health- a challenge for society.* 1986. Geneva.

Woollacott M, & Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait Posture.* 2002; 16(1):1-14.

Yogev-Seligmann G, Hausdorff JM, & Giladi N. The role of executive function and attention in gait. *Mov Disord.* 2008; 23(3):329-42;quiz 472.

Yogev-Seligmann G., Hausdorff JM., & Giladi N. Do We Always Prioritize Balance When Walking? Towards an Integrated Model of Task Prioritization. *Movement Disorders.* 2012; 27(6):765-70.

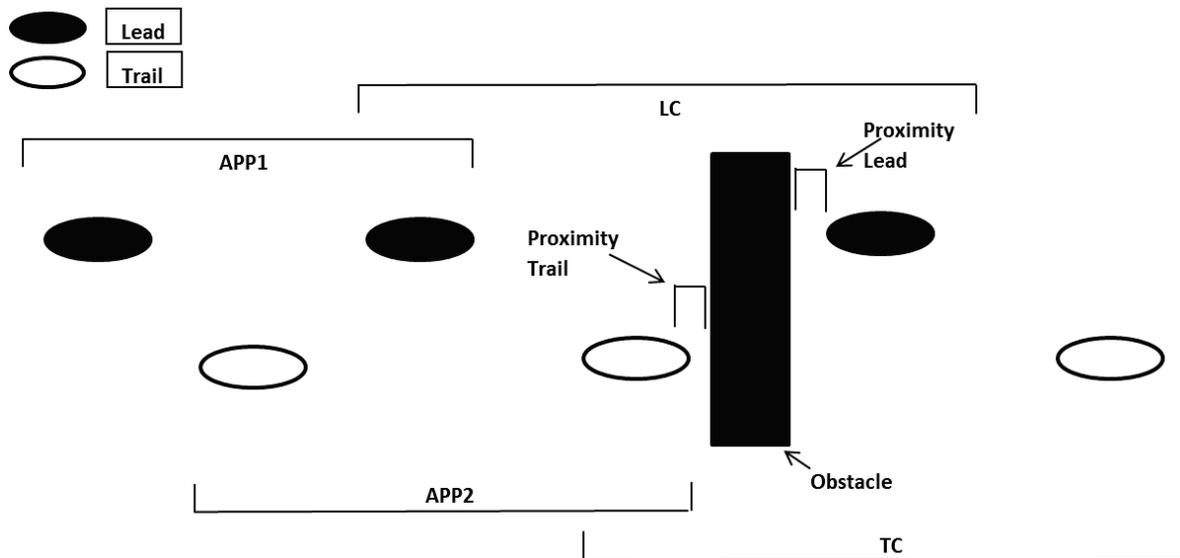


Figure 1: Phases over the whole trial for lead (black) and trail (white) feet during first approach (APP1), second approach (APP2), lead crossing (LC) and trail crossing (TC). Also indicated are the proximity measures for the lead and trail feet.

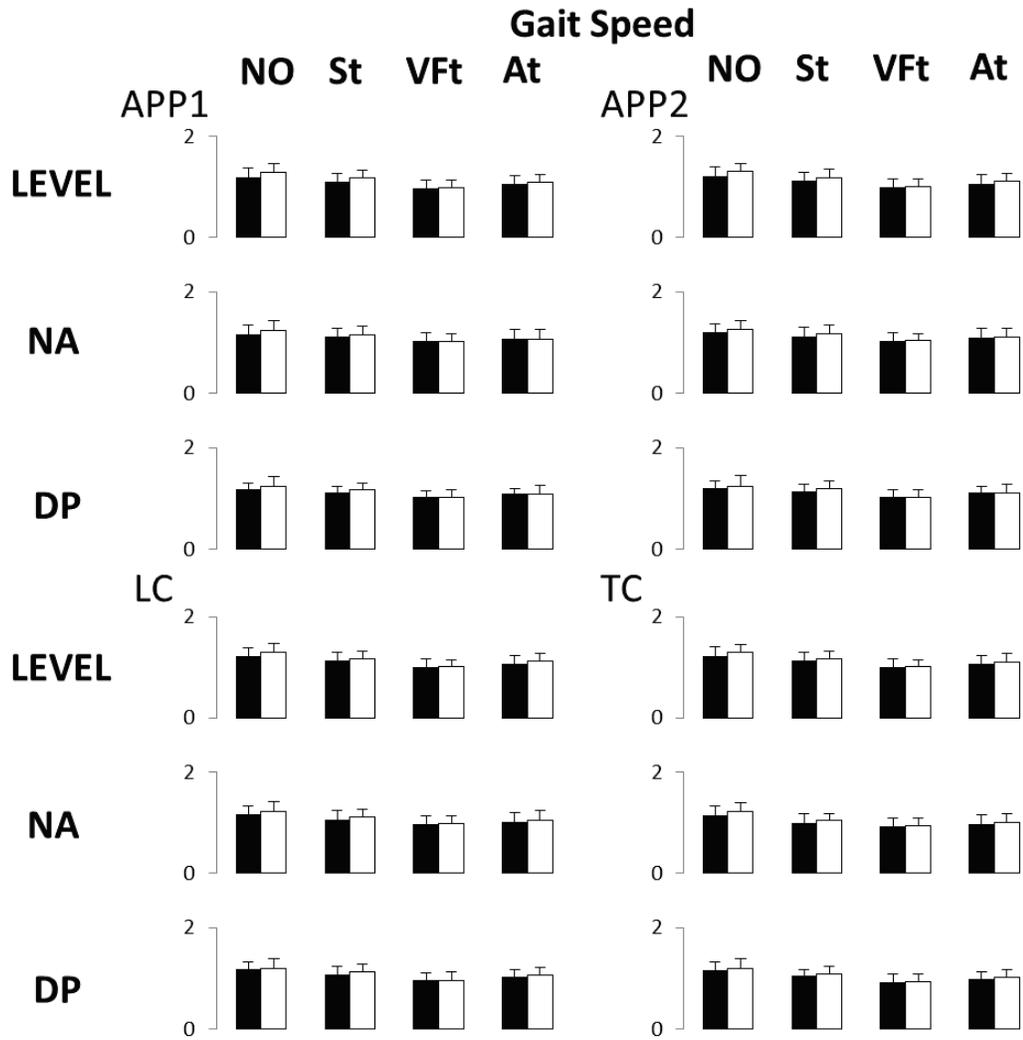


Figure 2 : Averages and standard deviations for gait speed during locomotor and cognitive tasks for mTBI (black bars) and control (white bars) groups by phases (approach 1 (APP1); approach 2 (APP2); lead crossing (LC); trail crossing (TC)). Cognitive tasks were no cognitive task (NO); Stroop task (St); verbal fluency task (VFt); arithmetic task (At). Gait tasks were level walking (LEVEL), narrow obstacle avoidance (NA) and deep obstacle avoidance (DP). * Significant differences between groups ($p < 0.05$).

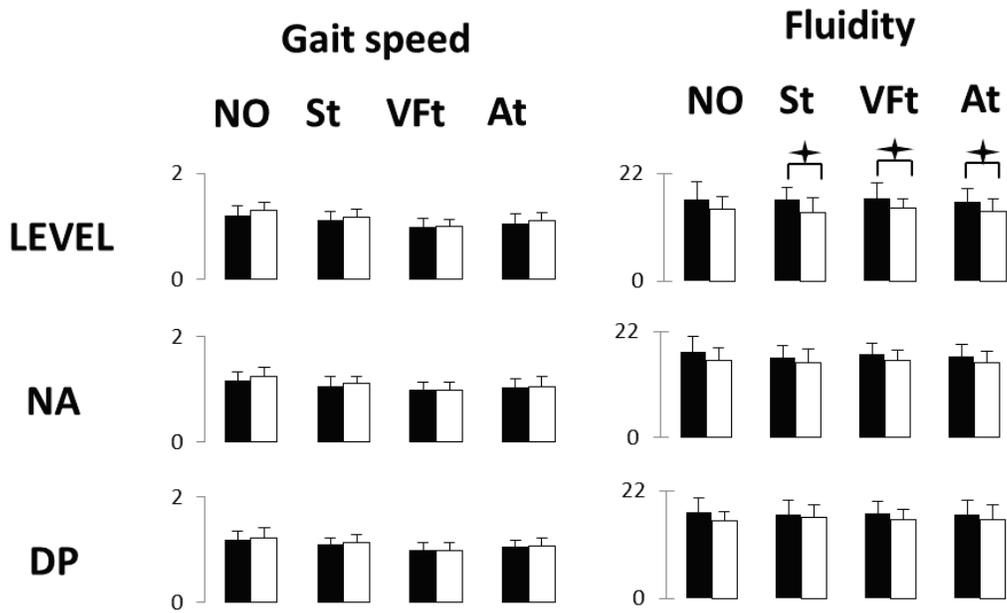


Figure 3: Averages and standard deviations for gait speed and fluidity during locomotor and cognitive tasks for mTBI (black bars) and control (white bars) groups for the whole trial. Cognitive tasks were no cognitive task (NO); Stroop task (St); verbal fluency task (VFt); arithmetic task (At). Gait tasks were level walking (LEVEL), narrow obstacle avoidance (NA) and deep obstacle avoidance (DP). *Significant differences between groups ($p < 0.05$).

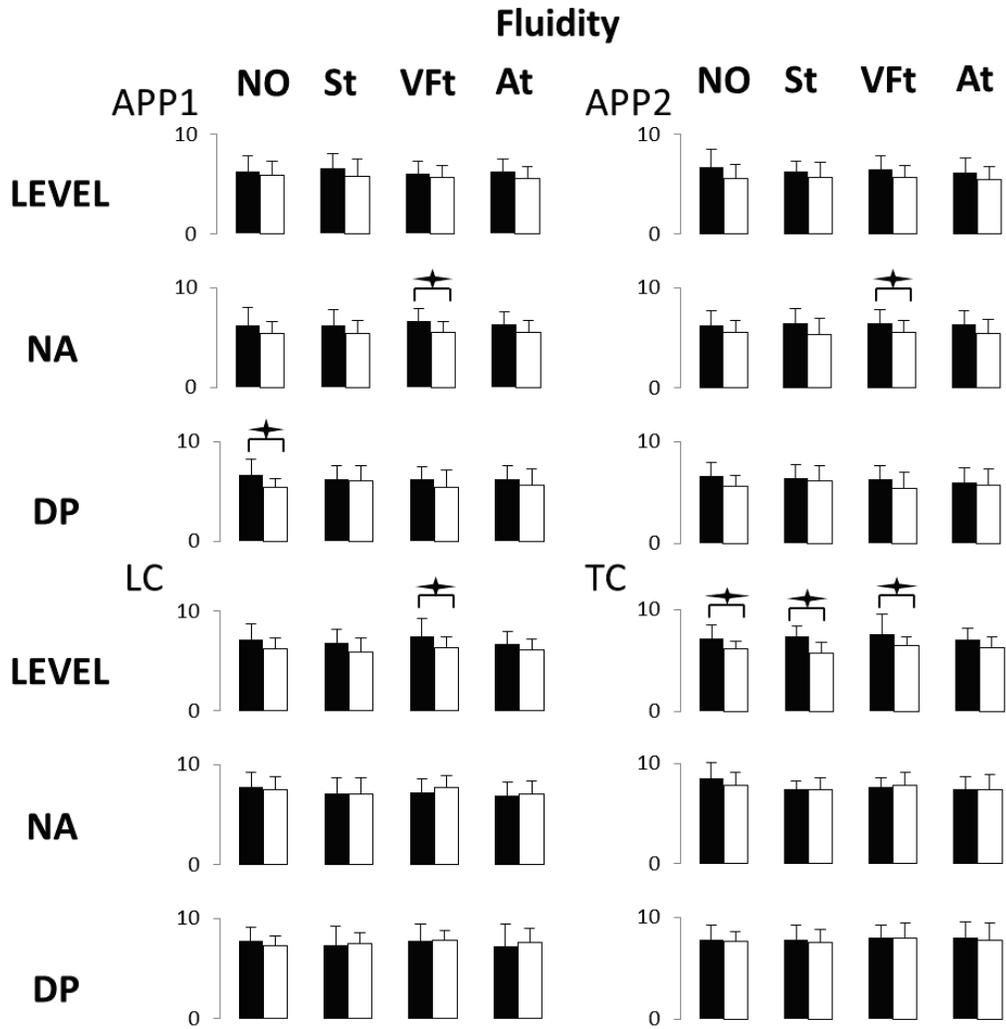


Figure 4 : Averages and standard deviations for fluidity during locomotor and cognitive tasks for mTBI (black bars) and control (white bars) groups by phases (approach 1 (APP1); approach 2 (APP2); lead crossing (LC); trail crossing (TC)). Cognitive tasks were no cognitive task (NO); Stroop task (St); verbal fluency task (VFt); arithmetic task (At). Gait tasks were level walking (LEVEL), narrow obstacle avoidance (NA) and deep obstacle avoidance (DP). *Significant differences between groups ($p < 0.05$).

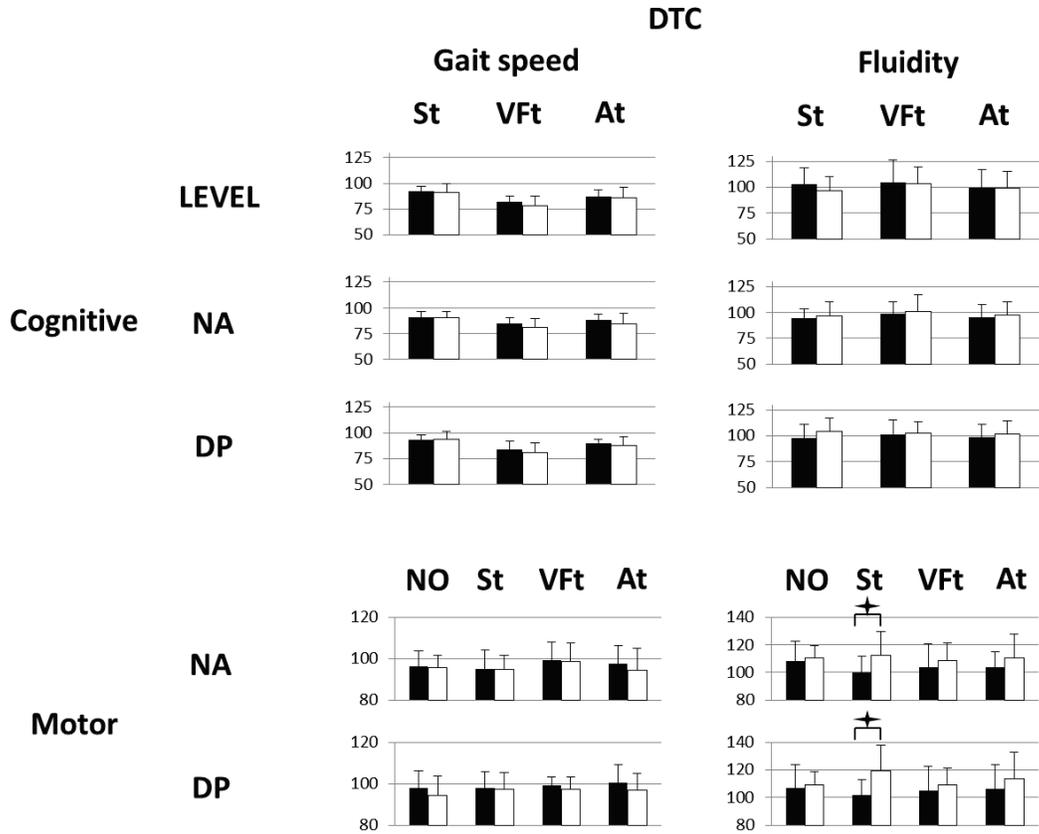


Figure 5 : Averages and standard deviations for dual-task costs (%) during motor and cognitive conditions in gait speed and fluidity during locomotor and cognitive tasks for mTBI (black bars) and control (white bars) groups for the whole trial. Cognitive tasks were no cognitive task (NO); Stroop task (St); verbal fluency task (VFt); arithmetic task (At). Gait tasks were level walking (LEVEL), narrow obstacle avoidance (NA) and deep obstacle avoidance (DP). *Significant differences between groups ($p < 0.05$).

Table 1: Subject characteristics (averages \pm standard deviations)

Groups	Age (y)	Height (m)	Sex	History of mTBI (no.)	Rivermead score	Time postinjury (days)
mTBI	13.0 \pm 1.6	1.6 \pm 0.1	F=6 M=8	1.0 \pm 0.0	8.4 \pm 8.5	67.1 \pm 24.6
CTRL	12.8 \pm 1.6	1.6 \pm 0.1	F=5 M=8	0.1 \pm 0.3	2.2 \pm 2.3	0.0 \pm 0.0

Abbreviations: mTBI=mild traumatic brain injury; CTRL=control; F=female; M=male.

Table 2: Averages and standard deviations for foot proximity (PROX) to the obstacle and toe clearances (CLEAR) for trail and lead feet for both narrow (NA) and deep (DP) obstacle avoidance conditions. Cognitive tasks were no cognitive task (NO); Stroop task (St); verbal fluency task (VFt); arithmetic task (At).

				NO	St	VFt	At
PROX (cm)	NA	TRAIL	mTBI	17.58 ± 5.08	18.28 ± 6.11	17.77 ± 5.30	19.37 ± 6.40
			CTRL	18.72 ± 7.35	18.35 ± 5.49	16.61 ± 5.66	18.17 ± 5.58
		LEAD	mTBI	29.74 ± 2.80	26.01 ± 5.73	25.00 ± 7.73	25.02 ± 7.42
			CTRL	29.37 ± 6.50	25.23 ± 5.14	24.55 ± 3.86	24.57 ± 5.03
	DP	TRAIL	mTBI	16.83 ± 5.06	14.27 ± 3.66	12.04 ± 2.67	13.70 ± 5.13
			CTRL	14.04 ± 4.60	14.39 ± 3.87	11.28 ± 4.07	13.33 ± 4.33
		LEAD	mTBI	21.04 ± 5.69	21.67 ± 4.66	19.34 ± 5.26	20.73 ± 6.19
			CTRL	22.54 ± 5.59	20.30 ± 6.73	18.95 ± 6.07	20.02 ± 6.14
CLEAR (cm)	NA	LEAD	mTBI	13.54 ± 5.46	14.41 ± 4.19	13.74 ± 4.64	14.48 ± 4.46
			CTRL	11.68 ± 2.10	14.13 ± 1.99	12.37 ± 1.85	12.97 ± 2.88
		TRAIL	mTBI	9.10 ± 4.02	11.85 ± 4.25	10.86 ± 4.29	10.96 ± 4.31
			CTRL	6.78 ± 2.42	11.69 ± 3.47	10.23 ± 3.82	9.63 ± 4.21
	DP	LEAD	mTBI	12.66 ± 3.65	13.75 ± 3.94	12.68 ± 4.30	13.32 ± 4.27
			CTRL	11.12 ± 2.77	13.92 ± 3.33	12.39 ± 3.13	12.39 ± 2.85
		TRAIL	mTBI	10.42 ± 6.03	13.52 ± 5.25	12.07 ± 4.89	11.00 ± 5.06
			CTRL	7.84 ± 3.46	12.00 ± 4.48	11.27 ± 4.35	9.60 ± 3.77

Chapitre 4 : Conclusion

4.1. Discussion

Au meilleur de notre connaissance, ce mémoire présente la première étude à explorer le niveau de sensibilité de différentes combinaisons de tâches motrices et cognitives pour différencier des jeunes en début d'adolescence ayant subi un TCCL à des adolescents sains. Des recherches auprès des adolescents sont nécessaires puisqu'ils sont les plus atteints par les TCCL et les plus vulnérables à leur conséquence comparativement aux adultes. Les résultats de cette étude ont montré que la fluidité de la marche semble être une variable sensible pour montrer des déficits présents suite à un TCCL chez des adolescents de 10-15 ans dans un contexte de marche en situation de double-tâche.

Ces résultats diffèrent de ceux obtenus précédemment chez de jeunes adultes (Cossette et al., 2014) qui avaient montré une diminution de la vitesse de marche chez les personnes ayant subi un TCCL comparé à des jeunes adultes contrôles. Howell et al. (2015) ont également montré des différences entre des adolescents et des jeunes adultes dans les déficits présents suite à un TCCL. En effet, ils ont observé une augmentation du déplacement médiolatéral du COM chez des adolescents jusqu'à deux mois post-TCCL lorsque comparé à des adolescents contrôles. Par contre, des jeunes adultes n'ont montré aucune différence dans le déplacement de leur COM deux mois post-TCCL par rapport aux jeunes adultes contrôles. Ceci met en évidence l'importance d'adapter les guides de pratique clinique selon l'âge comme déjà proposé par certains (DeMatteo et al., 2015; May et al., 2014).

La fluidité est la seule variable qui a montré des différences entre nos groupes, mais dans différentes phases de la tâche et sous différentes formes. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de Howell et al. (2015) qui ont montré que le contrôle du mouvement vers l'avant est affecté chez des adolescents post-TCCL, spécifiquement lors de situations de double-tâche (notons que les sujets étaient cependant un peu plus vieux que dans l'étude actuelle). Le contrôle du mouvement vers l'avant est directement relié au changement d'accélération-décélération vers l'avant défini ici comme la fluidité de la marche. Dans la présente étude, les sujets

TCCL ont été moins fluides que les sujets CTRL lors des deux premières phases de la tâche en enjambant l'obstacle mince combiné avec la tâche de fluidité verbale et en enjambant l'obstacle profond sans tâche cognitive. Cette phase de la tâche correspond au moment où la planification de la tâche motrice est effectuée (Patla & Vickers, 1997; Mohagheghi, Moraes, & Patla, 2004). D'un autre côté, les différences entre les groupes pour l'exécution de l'enjambement de l'obstacle (proximité et dégagement des pieds par rapport à l'obstacle) n'étaient pas très évidentes. Les sujets TCCL avaient une tendance à dégager leur pied de façon plus importante par rapport à l'obstacle, mais aucune différence significative n'a été trouvée. Ainsi, nos résultats suggèrent que la planification de l'enjambement d'un obstacle est plus exigeante après un TCCL, mais l'exécution est réalisée de façon relativement similaire à des sujets sains.

Dans une perspective clinique, les résultats tout au long de la tâche (de la planification à l'exécution) sont plus faciles à reproduire pour une évaluation clinique comportant une seule mesure informant sur le comportement général. Ainsi, les sujets TCCL ont montré une diminution de leur fluidité lors de la marche à niveau en situation de double-tâche par rapport au sujet CTRL. Les sujets CTRL ont, de leur côté, diminué leur fluidité lorsque la demande en équilibre dynamique a augmenté avec l'enjambement d'obstacle et ce, peu importe la tâche cognitive utilisée. Cependant, les sujets TCCL n'ont pas montré ce même comportement. Ils étaient déjà moins fluides lors de la marche à niveau et ont seulement maintenu ce même niveau de fluidité lors de l'enjambement de l'obstacle. Yogeve et al. (2012) ont proposé que la priorisation d'une tâche (cognitive ou motrice) est modulée par l'anxiété et le jugement de l'individu. Le fait que les sujets TCCL n'ont pas diminué leur fluidité en présence d'un obstacle peut suggérer qu'ils utilisent une stratégie plus conservatrice de marche comme montrée chez des jeunes adultes post-TCCCL par Parker et al. (2006).

De plus, les sujets CTRL sont devenus encore moins fluides lorsque la demande en équilibre dynamique augmentait et qu'une interférence visuelle était amenée par la tâche de Stroop (cette interférence n'était cependant pas présente avec les deux autres tâches cognitives). Les repères visuels pris durant la planification de l'enjambement d'un obstacle sont connus comme étant un élément-clé dans le

contexte locomoteur (Patla et al., 1997; Mohagheghi et al., 2004). Ainsi, les sujets CTRL montrent un plus grand CDT pour les tâches motrices spécifiquement lorsqu'une interférence visuelle est présente, comportement qui n'a pas été observé chez les sujets TCCL. Ceci peut signifier que les adolescents ayant subi un TCCL ne jugent pas la situation de la même façon que des sujets contrôles qui eux montrent une stratégie plus conservatrice lorsque leur équilibre dynamique est mis à l'épreuve avec différentes profondeurs d'obstacle et la présence d'une interférence visuelle. L'évaluation du changement relatif de la fluidité lors de différents défis au niveau de l'équilibre dynamique et des fonctions exécutives semble être un bon moyen pour mettre en évidence les différences présentes suite à un TCCL.

4.2. Retombées cliniques et perspectives

Les résultats de la présente étude ne permettent pas de conclure sur les meilleures combinaisons de tâches locomotrices et cognitives pour différencier des adolescents ayant subi un TCCL d'adolescents sains ce qui met l'emphase sur le fait que les déficits présents suite à un TCCL sont subtils. Des directions pour des recherches futures intéressantes en sont tout de même ressorties.

La fluidité de la marche est la variable qui semble être la plus sensible. Cliniquement, la fluidité pourrait être quantifiée à l'aide d'un accéléromètre portable placé au niveau du tronc. Cet instrument est peu coûteux tout en étant petit. Ainsi, il a l'avantage de ne pas perturber le patron de marche de la personne en plus de ne pas nécessiter d'être dans un laboratoire pour son utilisation (Kavanagh & Menz, 2008). Cependant, les accéléromètres portables sont encore peu utilisés, mais ils ont quand même montré leur utilité pour mettre en évidence les effets de l'âge sur le contrôle postural dynamique (Kavanagh & Menz, 2008). Des recherches sont toutefois nécessaires afin de valider l'utilisation de ces instruments dans l'évaluation des déficits post-TCCL.

Les déficits suite à un TCCL étant subtils, il serait difficile de mesurer la fluidité dans une mesure clinique avec des données normatives valides. Dans le but d'aider les professionnels de la santé à prendre de meilleures décisions sur le retour à la fonction et au jeu suite à un TCCL, il serait intéressant d'explorer l'utilisation de données de base individuelles comparant un individu à lui-même, c'est-à-dire une

mesure prise, par exemple, en début de saison pour un athlète, avant d'avoir un TCCL. Ainsi, basée sur les présents résultats, la fluidité pourrait être mesurée de trois façons différentes. La fluidité lors de la marche à niveau combinée avec différents types de tâches cognitives pourrait être utilisée comme mesure de base d'un individu. Il serait attendu qu'après un TCCL, la fluidité soit diminuée. Une autre manière de regarder la fluidité serait avec le CDT pour les tâches motrices, c'est-à-dire le changement relatif de fluidité entre la marche à niveau et lors de l'enjambement d'un obstacle pour une même tâche cognitive. S'il est attendu que la fluidité diminue avec l'augmentation de la demande en équilibre dynamique, et ce davantage lorsqu'une interférence visuelle est présente, alors les déficits post-TCCL seraient mis en évidence par le fait ne pas observer ce comportement. Encore une fois, des mesures de base individuelles pourraient être utilisées. Ces mesures pourraient être prises à l'aide d'accéléromètres portables, comme suggéré précédemment, mais plus de recherches sont nécessaires. Par contre, étant donné que les différences pour le CDT pour les tâches motrices observées ici étaient plus évidentes, des données normatives pourraient peut-être être établies.

L'effet de l'âge a également besoin d'être exploré davantage puisqu'il est connu que les jeunes adultes et les adolescents récupèrent différemment et peuvent ne pas présenter tout à fait les mêmes patrons de déficits suite à un TCCL (Howell et al., 2015; Cossette et al., 2014). Peu de données existent par rapport à quand les adolescents peuvent être comparés aux adultes quant à leur habileté à gérer des environnements de double-tâche à la marche. Les différences entre les différents groupes d'adolescents (i.e., début, milieu, fin) ont également besoin d'être explorées davantage. De meilleures connaissances par rapport à l'effet de l'âge dans la double-tâche à la marche et post-TCCL vont aider à guider la création de lignes directrices plus spécifique pour la gestion des TCCL.

4.3. Limites de l'étude

Plusieurs limites de l'étude effectuée doivent être notées. L'hétérogénéité du groupe TCCL en est une. En effet, certains sujets étaient encore symptomatiques au moment de l'expérimentation alors que d'autres ne l'étaient plus. De plus, le temps post-TCCL va de 27 à 105 jours post-TCCL. Il est, par contre, intéressant de noter

que des effets et des interactions ont tout de même été trouvés malgré cette hétérogénéité.

Le groupe d'âge ciblé pour cette étude constitue également une limite potentielle. Effectivement, le début de l'adolescence représente une période de changements cognitifs et physiques qui varie d'une personne à l'autre. Il peut exister des différences au niveau du stade de développement des fonctions exécutives puisqu'elles sont encore en développement malgré un ralentissement depuis l'âge de neuf ans (Korkman, Lahti-Nuutila, Laasonen, Kemp, & Holdnack, 2012). La meilleure manière de contrôler pour ce facteur serait de séparer les sujets par groupe d'âge (ex. : 10-11; 12-13; 13-14; 15-16; 17-18). Cependant, un plus grand nombre de sujets seraient nécessaires pour y parvenir et avoir une bonne puissance statistique.

La hauteur et la profondeur de l'obstacle étaient fixes pour tous les sujets, peu importe leur propre taille. Ainsi, la demande en équilibre dynamique pouvait être plus élevée pour les sujets moins grands ou alors la taille du sujet aurait pu affecter l'exécution de la tâche (proximité et dégagement des pieds par rapport à l'obstacle). Cependant, une corrélation bivariée post-hoc a été effectuée entre le placement et le dégagement des pieds par rapport à l'obstacle et la taille des sujets et aucune corrélation n'a été trouvée (écarts de R^2 entre -0,016 et 0,120 et valeur p entre 0,102 et 0,816).

Le nombre de participants est également une limite de cette étude. Il serait intéressant de répéter l'expérimentation avec plus de participants. De plus, étant donné la phase exploratoire de cette étude, il y avait un grand nombre de comparaisons à faire lors des analyses statistiques. Des études futures pourraient cibler les tâches qui semblent être plus sensibles selon les résultats présents.

En conclusion, la fluidité semble être une meilleure variable que la vitesse de marche pour révéler les déficits suite à un TCCL chez de jeunes adolescents. Le CDT pour les tâches motrices, soit le changement relatif entre la marche à niveau et l'enjambement d'obstacle, de la fluidité semble également montrer du potentiel dans l'évaluation des déficits résiduels d'un TCCL. Basés sur les évidences disponibles

actuellement (Cossette et al., 2014; Howell et al., 2015), les adolescents semblent ne pas manifester tout à fait les mêmes déficits que les jeunes adultes suite à un TCCL. Cette étude amène d'intéressantes directions pour des recherches futures sur le développement de mesures cliniques utilisant la double-tâche à la marche pour évaluer les personnes ayant subi un TCC.

Références

Abbruzzese LD, Rao AK, Bellows R, Figueroa K, Levy J, Lim E, & Puccio L. Effects of manual task complexity on gait parameters in school-aged children and adults. *Gait Posture*. 2014; 40(4):658-63.

Abernethy, B. Dual-task methodology and motor skills research: some applications and methodological constraints. *Journal of Human Movement Studies*. 1998; 14(3):101-132.

Abrahams S, Fie SM, Patricios J, Posthumus M, & September AV. Risk factors for sports concussion: an evidence-based systematic review. *Br J Sports Med*. 2014; 48(2):91-7.

Adams R & Parsons O. Neuropsychology for clinical practice: etiology, assessment, and treatment of common neurologic disorders. Washington, DC: American Psychological Association; 2003.

Allen BJ, & Gfeller JD. The Immediate Post-Concussion Assessment and Cognitive Testing battery and traditional neuropsychological measures: a construct and concurrent validity study. *Brain Inj*. 2011; 25(2):179-91.

Al-Yahya E, Dawes H, Smith L, Dennis A, Howells K, & Cockburn J. Cognitive motor interference while walking: a systematic review and meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev*. 2011; 35(3):715-28.

Anderson VA, Anderson P, Northam E, Jacobs R, & Catroppa C. Development of executive functions through late childhood and adolescence in an Australian sample. *Dev Neuropsychol*. 2001; 20(1):385-406.

Aubry M, Cantu R, Dvorak J, Graf-Baumann T, Johnston K, Kelly J, Lovell M, McCrory P, Meeuwisse W, & Schamasch P; Concussion in Sport Group. Summary and agreement statement of the First International Conference on Concussion in Sport, Vienna 2001. Recommendations for the improvement of safety and health of athletes who may suffer concussive injuries. *Br J Sports Med*. 2002; 36(1):6-10.

Ayers, E., Tow, A., Holtzer, R., & Verghese, J. Walking while talking and falls in aging. *Gerontology*. 2014; 60(2):108-113.

Baker CS & Cinelli ME. Visuomotor deficits during locomotion in previously concussed athletes 30 or more days following return to play. *Physiol Rep*. 2014; 2(12).

Bardy, B. G., & Laurent, M. Visual cues and attention demand in locomotor positioning. *Percept Mot Skills*. 1991; 72(3):915-926.

Beauchet O, Dubost V, Gonthier R, & Kressig RW. Dual-task-related gait changes in transitionally frail older adults: the type of the walking-associated cognitive task matters. *Gerontology*. 2005; 51(1):48-52.

Beauchet, O., Annweiler, C., Dubost, V., Allali, G., Kressig, R., Bridenbaugh, S., & Herrmann, F. R. Stops walking when talking: a predictor of falls in older adults? *European Journal of Neurology*. 2009; 16(7):786-795.

Bell DR, Guskiewicz KM, Clark MA, & Padua DA. Systematic review of the balance error scoring system. *Sports Health*. 2011; 3(3):287-95.

Berard JR, & Vallis LA. Characteristics of single and double obstacle avoidance strategies: a comparison between adults and children. *Exp Brain Res*. 2006; 175(1):21-31.

Bloem BR, Valkenburg VV, Slabbekoorn M, & van Dijk JG. The multiple tasks test. Strategies in Parkinson's disease. *Exp Brain Res*. 2001; 137:478-486.

Bloem BR, Grimbergen YA, van Dijk JG, & Munneke M. The "posture second" strategy: a review of wrong priorities in Parkinson's disease. *J Neurol Sci* 2006; 248:196-204.

Bohannon, R. W. Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20 - 79 years: reference values and determinants. *Age Ageing*. 1997; 26(1):15-9.

Boonyong S, Siu KC, van Donkelaar P, Chou LS, & Woollacott MH. Development of postural control during gait in typically developing children: the effects of dual-task conditions. *Gait Posture*. 2012; 35(3):428-34.

Broglio SP & Puetz TW. The effect of sport concussion on neurocognitive function, self-report symptoms and postural control: a meta-analysis. *Sports Med*. 2008; 38(1):53-67.

Brown HJ, Siegmund GP, Guskiewicz KM, Van Den Doel K, Cretu E, & Blouin JS. Development and validation of an objective balance error scoring system. *Med Sci Sports Exerc*. 2014; 46(8):1610-6.

Buckley TA, Munkasy BA, Tapia-Lovler TG, & Wikstrom EA. Altered gait termination strategies following a concussion. *Gait Posture*. 2013; 38(3):549-51.

Cancelliere C, Donovan J & Cassidy JD. Is sex an indicator of prognosis after mild traumatic brain injury: A systematic analysis of the findings of the WHO Collaborating Centre Task Force on Mild Traumatic Brain Injury and the International Collaboration on Mild Traumatic Brain Injury Prognosis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2015 [Epub ahead of print]

Cassidy JD, Carroll LJ, Peloso PM, Borg J, von Holst H, Holm L, Kraus J, & Coronado VG. Incidence, risk factors and prevention of mild traumatic brain injury: results of the WHO Collaborating Centre Task Force on Mild Traumatic Brain Injury. *J Rehabil Med*. 2004; (43 Suppl):28-60.

Catena RD, van Donkelaar P, & Chou LS. Cognitive task effects on gait stability following concussion. *Exp Brain Res*. 2007; 176(1):23-31.

Catena RD, van Donkelaar P, & Chou LS. Different gait tasks distinguish immediate vs. long-term effects of concussion on balance control. *J Neuroeng Rehabil*. 2009; 6:25.

Catena RD, van Donkelaar P, & Chou LS. The effects of attention capacity on dynamic balance control following concussion. *J Neuroeng Rehabil*. 2011, 8:8.

Chan RC. Sustained attention in patients with mild traumatic brain injury. *Clin Rehabil*. 2005; 19(2):188-93.

Chapman GJ, & Hollands MA. Evidence that older adult fallers prioritise the planning of future stepping actions over the accurate execution of ongoing steps during complex locomotor tasks. *Gait Posture* 2007; 26:59–67.

Chiu SL, Osternig L, & Chou LS. Concussion induces gait inter-joint coordination variability under conditions of divided attention and obstacle crossing. *Gait Posture*. 2013; 38(4):717-22.

Chou, L.-S., Kaufman, K. R., Walker-Rabatin, A. E., Brey, R. H., & Basford, J. R. Dynamic instability during obstacle crossing following traumatic brain injury. *Gait Posture*, 2004; 20(3):245-254.

Consensus conference. Rehabilitation of persons with traumatic brain injury. NIH Consensus Development Panel on Rehabilitation of Persons With Traumatic Brain Injury. *JAMA*. 1999; 282(10):974-83.

Corrigan, J. D., & Bogner, J. Initial reliability and validity of the Ohio State University TBI Identification Method. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*. 2007; 22(6):318–29.

Cossette, I., Ouellet, M.-C., & McFadyen, B. J. A Preliminary Study to Identify Locomotor-Cognitive Dual Tasks That Reveal Persistent Executive Dysfunction After Mild Traumatic Brain Injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2014; 95(8):1594-1597.

Dashnaw ML, Petraglia AL, & Bailes JE. An overview of the basic science of concussion and subconcussion: where we are and where we are going. *Neurosurg Focus*. 2012; 33(6):E5:1-9.

De Beaumont L, Brisson B, Lassonde M, & Jolicoeur P. Long-term electrophysiological changes in athletes with a history of multiple concussions. *Brain Inj.* 2007; 21(6):631-44.

DeMatteo C, McCauley D, Stazyk K, Harper J, Adamich J, Randall S, & Missiuna C. Post-concussion return to play and return to school guidelines for children and youth: a scoping methodology. *Disabil Rehabil.* 2015; 37(12):1107-12.

DeMatteo C, Stazyk K, Giglia L, Mahoney W, Singh SK, Hollenberg R, Harper JA, Missiuna C, Law M, McCauley D, & Randall S. A Balanced Protocol for Return to School for Children and Youth Following Concussive Injury. *Clin Pediatr (Phila)*. 2015. [Epub ahead of print]

Denny-Brown D, & Russell WR. Experimental cerebral concussion. *Brain* 1941; 64:93–163.

Delis, D. C., Kaplan, E., & Kramer, J. H. Delis-Kaplan Executive Function System. 2001. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.

Echemendia RJ, Iverson GL, McCrea M, Macciocchi SN, Gioia GA, Putukian M, & Comper P. Advances in neuropsychological assessment of sport-related concussion. *Br J Sports Med.* 2013; 47(5):294-8.

Elias LJ, & Bryden MP. Footedness is a better predictor of language lateralisation than handedness. *Laterality.* 1998; 3(1):41-51.

Fait P, McFadyen BJ, Swaine B, & Cantin JF. Alterations to locomotor navigation in a complex environment at 7 and 30 days following a concussion in an elite athlete. *Brain Inj.* 2009; 23(4):362-9.

Fait P, Swaine B, Cantin JF, Leblond J, & McFadyen BJ. Altered Integrated Locomotor and Cognitive Function in Elite Athletes 30 Days Postconcussion: A Preliminary Study. *J Head Trauma Rehabil.* 2013; 28(4):293-301.

Foley C, Gregory A, & Solomon G. Young age as a modifying factor in sports concussion management: what is the evidence? *Curr Sports Med Rep.* 2014; 13(6):390-4.

Fuster JM. Synopsis of function and dysfunction of the frontal lobe. *Acta Psychiatr Scand Suppl* 1999. 395:51-57.

Gagnon I, Forget R, Sullivan SJ, & Friedman D. Motor performance following a mild traumatic brain injury in children: an exploratory study. *Brain Inj.* 1998; 12(10):843-53.

Gagnon I, Friedman D, Swaine B, & Forget R. Balance findings in a child before and after a mild head injury. *J Head Trauma Rehabil.* 2001; 16(6):595-602.

Gagnon I, Swaine B, Friedman D, & Forget R. Visuomotor response time in children with a mild traumatic brain injury. *J Head Trauma Rehabil.* 2004; 19(5):391-404.

Galetta K, Barrett J, Allen M, Madda F, Delicata D, Tennant AT, Branas CC, Maguire MG, Messner LV, Devick S, Galetta SL, & Balcer LJ. The King-Devick test as a determinant of head trauma and concussion in boxers and MMA fighters. *Neurology.* 2011; 76(17):1456-62.

Galetta K, Brandes L, Maki K, Dziemianowicz MS, Laudano E, Allen M, Lawler K, Sennett B, Wiebe D, Devick S, Messner LV, Galetta SL, & Balcer LJ. The King-Devick test and sports-related concussion: study of a rapid visual screening tool in a collegiate cohort. *J Neurol Sci.* 2011; 309(1-2):34-9.

Galetta M, Galetta K, McCrossin J, Wilson JA, Moster S, Galetta SL, Balcer LJ, Dorshimer GW, & Master CL. Saccades and memory: baseline associations of the King-Devick and SCAT2 SAC tests in professional ice hockey players. *J Neurol Sci.* 2013; 328(1-2):28-31.

Geary EK, Kraus MF, Rubin LH, Pliskin NH, & Little DM. Verbal learning strategy following mild traumatic brain injury. *J Int Neuropsychol Soc.* 2011; 17(4):709-19.

Gershon RC, Cella D, Fox NA, Havlik RJ, Hendrie HC, & Wagster MV. Assessment of neurological and behavioural function: the NIH Toolbox. *Lancet Neurol.* 2010; 9(2):138-9.

Giza, C.C., Kutcher, J.S., Ashwal, S., Barth, J., Getchius, T.S., Gioia, G.A., Gronseth, G.S., Guskiewicz, K., Mandel, S., Manley, G., McKeag, D.B., Thurman, D.J., & Zafonte, R. Summary of evidence-based guideline update: evaluation and management of concussion in sports: report of the Guideline Development Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology* 80, 2013; 2250-2257.

Goethals I, Audenaert K, Van de WC, & Dierckx R. The prefrontal cortex: insights from functional neuroimaging using cognitive activation tasks. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2004; 31:408-416.

Gosselin N, Theriault M, Leclerc S, Montplaisir J, & Lassonde M. Neurophysiological anomalies in symptomatic and asymptomatic concussed athletes. *Neurosurgery.* 2006; 58(6):1151-61;discussion -61.

Gurley JM, Hujsak BD, & Kelly JL. Vestibular rehabilitation following mild traumatic brain injury. *NeuroRehabilitation.* 2013; 32(3):519-28.

Guskiewicz KM, Riemann BL, Perrin DH, Nashner LM. Alternative approaches to the assessment of mild head injury in athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1997; 29(7 Suppl):S213-21.

Guskiewicz KM, Weaver NL, Padua DA, & Garrett WE Jr. Epidemiology of concussion in collegiate and high school football players. *Am J Sports Med* 2000; 28(5):643–50.

Guskiewicz KM, Ross SE, & Marshall SW. Postural Stability and Neuropsychological Deficits After Concussion in Collegiate Athletes. *J Athl Train.* 2001; 36(3):263-273.

Guskiewicz KM, & Register-Mihalik JK. Postconcussive impairment differences across a multifaceted concussion assessment protocol. *PM R.* 2011; 3(10 Suppl 2):S445-51.

Halterman CI, Langan J, Drew A, Rodriguez E, Osternig LR, Chou LS, & van Donkelaar P. Tracking the recovery of visuospatial attention deficits in mild traumatic brain injury. *Brain.* 2006; 129(Pt 3):747-53.

Harmon KG, Drezner J, Gammons M, Guskiewicz K, Halstead M, Herring S, Kutcher J, Pana A, Putukian M, & Roberts W. American Medical Society for Sports Medicine. American Medical Society for Sports Medicine position statement: concussion in sport. *Clin J Sport Med.* 2013; 23(1):1-18.

Howell DR, Osternig LR, & Chou LS. Dual-task effect on gait balance control in adolescents with concussion. *Arch Phys Med Rehabil.* 2013; 94(8):1513-20.

Howell DR, Osternig LR, & Chou LS. Adolescents demonstrate greater gait balance control deficits after concussion than young adults. *Am J Sports Med.* 2015; 43(3):625-32.

Huxhold O, Li SC, Schmiedek F, & Lindenberger U. Dual-tasking postural control: aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain Res Bull.* 2006; 69(3):294-305.

INESSS (Institut national d'excellence en santé et en services sociaux) (2014). Conseils à la suite d'un traumatisme craniocérébral léger (TCCL). Récupéré du site de l'organisme : http://fecst.inesss.qc.ca/fileadmin/documents/Publications/DEPLIANT_TCC_Pediatric_17012014_FINAL.pdf

Iverson GL, Lange RT, Gaetz M, & Zasler ND. Mild TBI. In : Brain Injury Medicine: Principles and Practice. Zasler ND, Katz DI, Zafonte RD, editors. New York: Demos Medical Publishing; 2007. 333-71.

Iverson G, Lange R. Mild traumatic brain injury. In: Schoenberg M, Scott J, editors. *The little black book of neuropsychology: a syndrome-based approach*. 1st ed. New York: Springer; 2011. p. 697–719.

Kavanagh JJ, & Menz HB. Accelerometry: a technique for quantifying movement patterns during walking. *Gait Posture*. 2008; 28(1):1-15.

King NS, Crawford S, Wenden FJ, Moss NE, Wade DT. The Rivermead Post Concussion Symptoms Questionnaire: a measure of symptoms commonly experienced after head injury and its reliability. *J Neurol*. 1995; 242(9):587-92.

King D, Brughelli M, Hume P, & Gissane C. Concussions in amateur rugby union identified with the use of a rapid visual screening tool. *J Neurol Sci*. 2013; 326(1–2):59–63.

King D, Brughelli M, Hume P, & Gissane C. Assessment, management and knowledge of sport-related concussion: systematic review. *Sports Med*. 2014; 44(4):449-71.

Korkman M, Lahti-Nuutila P, Laasonen M, Kemp SL, & Holdnack J. Neurocognitive development in 5- to 16-year-old North American children: a cross-sectional study. *Child Neuropsychol*. 2013; 19(5):516-39.

Krampe RT, Schaefer S, Lindenberger U, & Baltes PB. Lifespan changes in multi-tasking: concurrent walking and memory search in children, young, and older adults. *Gait Posture*. 2011; 33(3):401-5.

Kristman VL, Borg J, Godbolt AK, Salmi LR, Cancelliere C, Carroll LJ, Holm LW, Nygren-de Boussard C, Hartvigsen J, Abara U, Donovan J, & Cassidy JD. Methodological issues and research recommendations for prognosis after mild traumatic brain injury: results of the International Collaboration on Mild Traumatic Brain Injury Prognosis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2014; 95(3 Suppl):S265-77.

Kwok FY, Lee TM, Leung CH, & Poon WS. Changes of cognitive functioning following mild traumatic brain injury over a 3-month period. *Brain Inj*. 2008; 22(10):740-51.

Landre N, Poppe CJ, Davis N, Schmaus B, & Hobbs SE. Cognitive functioning and postconcussive symptoms in trauma patients with and without mild TBI. *Arch Clin Neuropsychol*. 2006; 21(4):255-73.

Lajoie, Y., Teasdale, N., Bard, C., & Fleury, M. Attentional demands for static and dynamic equilibrium. *Experimental brain research*. 1993; 97(1):139-144.

Langlois JA, Rutland-Brown W, & Thomas KE. Traumatic Brain Injury in the United States: Emergency Department Visits, Hospitalizations, and Deaths. Centers for Disease Control and Prevention: Atlanta. 2004.

Leddy JJ, Baker JG, Merchant A, Picano J, Gaile D, Matuszak J, & Willer B. Brain or Strain? Symptoms Alone Do Not Distinguish Physiologic Concussion From Cervical/Vestibular Injury. *Clin J Sport Med*. 2015; 25(3):237-42.

Lee H, Sullivan SJ, & Schneiders AG. The use of the dual-task paradigm in detecting gait performance deficits following a sports-related concussion: A systematic review and metaanalysis. *J Sci Med Sport*. 2013; 16(1):2-7.

Lezak MD. Neuropsychological assessment. New York: Oxford University Press; 1995.

Lorenz-Reuter PA. Cognitive neuropsychology of the aging brain. In: Park DC, Schwartz N, editors. Cognitive aging: a primer. Philadelphia, PA: Psychology Press, Taylor & Francis; 2000. p 93–114.

Lövdén M, Schaefer S, Pohlmeier AE, & Lindenberger U. Walking variability and working-memory load in aging: a dual-process account relating cognitive control to motor control performance. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*. 2008; 63(3):P121-8.

Lundin Olsson, L., Nyberg, L., & Gustafson, Y. "Stops walking when talking" as a predictor of falls in elderly people. *Lancet (London, England)*. 1997; 349(9052):617.

Malina RM, & Bouchard C. Growth, maturation, and physical activity. 2004 (2nd ed.) Champaign, Ill: Human Kinetics.

Martini DN, Sabin MJ, DePesa SA, Leal EW, Negrete TN, Sosnoff JJ, & Broglio SP. The chronic effects of concussion on gait. *Arch Phys Med Rehabil*. 2011; 92(4):585-9.

May KH, Marshall DL, Burns TG, Popoli DM, & Polikandriotis JA. Pediatric sports specific return to play guidelines following concussion. *Int J Sports Phys Ther*. 2014; 9(2):242-55.

McCrea M, Kelly JP, Randolph C, Kluge J, Bartolic E, Finn G, & Baxter B. Standardized assessment of concussion (SAC): on-site mental status evaluation of the athlete. *J Head Trauma Rehabil*. 1998; 13(2):27-35.

McCrea M, Guskiewicz KM, Marshall SW, Barr W, Randolph C, Cantu RC, Onate JA, Yang J, & Kelly JP. Acute effects and recovery time following concussion in collegiate football players: the NCAA Concussion Study. *JAMA*. 2003; 290(19):2556-63.

McCrea M, Hammeke T, Olsen G, Leo P, & Guskiewicz K. Unreported concussion in high school football players: implications for prevention. *Clin J Sport Med.* 2004; 14(1):13-7.

McCrory PR, & Berkovic SF. Concussion: the history of clinical and pathophysiological concepts and misconceptions. *Neurology.* 2001; 57(12):2283-9.

McCrory P, Johnston K, Meeuwisse W, Aubry M, Cantu R, Dvorak J, Graf-Baumann T, Kelly J, Lovell M, & Schamasch P. Summary and agreement statement of the 2nd International Conference on Concussion in Sport, Prague 2004. *Br J Sports Med.* 2005; 39(4):196-204.

McCrory P, Meeuwisse W, Johnston K, Dvorak J, Aubry M, Molloy M, & Cantu R. Consensus statement on concussion in sport—the 3rd International Conference on Concussion in Sport held in Zurich, November 2008. *J Sci Med Sport.* 2009; 12(3):340–51.

McCrory P, Meeuwisse W, Aubry M, Cantu RC, Dvořák J, Echemendia RJ, Engebretsen L, Johnston K, Kutcher JS, Raftery M, Sills A, Benson BW, Davis GA, Ellenbogen R, Guskiewicz KM, Herring SA, Iverson GL, Jordan BD, Kissick J, McCrea M, McIntosh AS, Maddocks D, Makdissi M, Purcell L, Putukian M, Schneider K, Tator CH, & Turner M. Consensus statement on concussion in sport: the 4th International Conference on Concussion in Sport held in Zurich, November 2012. *Br J Sports Med.* 2013; 47(5):250–8.

McFadyen BJ, & Carnahan H. Anticipatory locomotor adjustments for accommodating versus avoiding level changes in humans. *Exp Brain Res.* 1997 May; 114(3):500-6.

McFadyen BJ, Malouin F, & Dumas F. Anticipatory locomotor control for obstacle avoidance in mid-childhood aged children. *Gait Posture.* 2001; 13(1):7-16.

McFadyen BJ, Gagné M-È, Cossette I, & Ouellet , M-C. Using dual task walking as an aid to ecologically assess executive dysfunction in neurological populations: A narrative review. Accepted. *Neuropsychological Rehabilitation.*

Miyasike daSilva, V., & McIlroy, W. Does it really matter where you look when walking on stairs? Insights from a dual-task study. *PLoS One.* 2012; 7(9):e44722.

Mohagheghi AA, Moraes R, & Patla AE. The effects of distant and on-line visual information on the control of approach phase and step over an obstacle during locomotion. *Exp Brain Res.* 2004; 155(4):459-68.

Montero Odasso, M., & Hachinski, V. Preludes to brain failure: executive dysfunction and gait disturbances. *Neurological sciences.* 2014; 35(4):601-604.

- Muhaidat J, Kerr A, Evans JJ, & Skelton DA. Exploring gait-related dual task tests in community-dwelling fallers and non-faller: a pilot study. *Physiother Theory Pract*. 2013; 29(5):351-70.
- Noble JM, & Hesdorffer DC. Sport-related concussions: a review of epidemiology, challenges in diagnosis, and potential risk factors. *Neuropsychol Rev*. 2013; 23(4):273-84.
- Olivier I, Cuisinier R, Vaugoyeau M, Nougier V, & Assaiante C. Age-related differences in cognitive and postural dual-task performance. *Gait Posture*. 2010; 32(4):494-9.
- Parker TM, Osternig LR, P VAND, & Chou LS. Gait stability following concussion. *Med Sci Sports Exerc*. 2006; 38(6):1032-40.
- Pashler H. Dual-Task Interference in Simple Tasks: Data and Theory Psychological Bulletin. 1994; 116(2):220-244.
- Patla AE, & Vickers JN. Where and when do we look as we approach and step over an obstacle in the travel path? *Neuroreport*. 1997; 8(17):3661-5.
- Patla AE, & Greig M. Any way you look at it, successful obstacle negotiation needs visually guided on-line foot placement regulation during the approach phase. *Neurosci Lett*. 2006 Apr 10-17; 397(1-2):110-4.
- Peterson CL, Ferrara MS, Mrazik M, Piland S, & Elliott R. Evaluation of neuropsychological domain scores and postural stability following cerebral concussion in sports. *Clin J Sport Med*. 2003; 13(4):230-7.
- Pham N, Akonasu H, Shishkin R, & Taghibiglou C. Plasma soluble prion protein, a potential biomarker for sport-related concussions: a pilot study. *PLoS One*. 2015; 10(2).
- Pickett W, Simpson K, & Brison RJ. Rates and external causes of blunt head trauma in Ontario: analysis and review of Ontario Trauma Registry datasets. *Chronic Dis Can*. 2004; 25(1):32-41.
- Powers KC, Kalmar JM, & Cinelli ME. Recovery of static stability following a concussion. *Gait Posture*. 2013; 39(1):611-4.
- Powers KC, Kalmar JM, & Cinelli ME. Dynamic stability and steering control following a sport-induced concussion. *Gait Posture*. 2014; 39(2):728-32.
- Purcell L, Society CP, Committee HALaSM. Evaluation and management of children and adolescents with sports-related concussion. *Paediatr Child Health*. 2012; 17(1):31.

Raven, J. C. Raven's progressive matrices: Sets A, B, C, D, E. 1938. Melbourne, Australia: Australian Council for Educational Research.

Register-Mihalik JK, Guskiewicz KM, Mihalik JP, Schmidt JD, Kerr ZY, & McCrea MA. Reliable Change, Sensitivity, and Specificity of a Multidimensional Concussion Assessment Battery: Implications for Caution in Clinical Practice. *J Head Trauma Rehabil.* 2012; 28(4):274-83.

Register-Mihalik JK, Littleton AC, & Guskiewicz KM. Are Divided Attention Tasks Useful in the Assessment and Management of Sport-Related Concussion? *Neuropsychol Rev.* 2013; 23(4):300-13.

Reneker JC, Clay Moughiman M, & Cook CE. The diagnostic utility of clinical tests for differentiating between cervicogenic and other causes of dizziness after a sports-related concussion: An international Delphi study. *J Sci Med Sport.* 2015; 18(4):366-72.

Ruff RM, Iverson GL, Barth JT, Bush SS, & Broshek DK; NAN Policy and Planning Committee. Recommendations for diagnosing a mild traumatic brain injury: a National Academy of Neuropsychology education paper. *Arch Clin Neuropsychol.* 2009; 24(1):3-10.

Rey, A. L'examen psychologique dans les cas d'encephalopathie traumatique. 1941. *Archives de Psychologie*, 28, 21.

Ryu WH, Feinstein A, Colantonio A, Streiner DL, & Dawson DR. Early identification and incidence of mild TBI in Ontario. *Can J Neurol Sci.* 2009; 36(4):429-35.

Schaefer S, Krampe RT, Lindenberger U, & Baltes PB. Age differences between children and young adults in the dynamics of dual-task prioritization: body (balance) versus mind (memory). *Dev Psychol.* 2008; 44(3):747-57.

Schaefer S, Jagenow D, Verrel J, & Lindenberger U. The influence of cognitive load and walking speed on gait regularity in children and young adults. *Gait Posture.* 2015; 41(1):258-62.

Schneider KJ, Iverson GL, Emery CA, McCrory P, Herring SA, & Meeuwisse WH. The effects of rest and treatment following sport-related concussion: a systematic review of the literature. *Br J Sports Med.* 2013; 47(5):304-7.

Schneider KJ, Meeuwisse WH, Nettel-Aguirre A, Barlow K, Boyd L, Kang J, & Emery CA. Cervicovestibular rehabilitation in sport-related concussion: a randomised controlled trial. *Br J Sports Med.* 2014; 48(17):1294-8.

Shahim P, Linemann T, Inekci D, Karsdal MA, Blennow K, Tegner Y, Zetterberg H, & Henriksen K. Serum tau fragments predict return to play in concussed professional ice hockey players. *J Neurotrauma*. 2015. [Epub ahead of print]

Shrey DW, Griesbach GS, & Giza CC. The pathophysiology of concussions in youth. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2011; 22(4):577-602.

Siman R, Shahim P, Tegner Y, Blennow K, Zetterberg H, & Smith DH Dr. Serum SNTF Increases in Concussed Professional Ice Hockey Players and Relates to the Severity of Post-Concussion Symptoms. *J Neurotrauma*. 2015; 32(17):1294-300.

Sosin DM, Sniezek JE, & Thurman DJ. Incidence of mild and moderate brain injury in the United States, 1991. *Brain Inj*. 1996; 10(1):47-54.

Strauss, E., Sherman, E., & Spreen, O. A Compendium of Neuropsychological Tests: Administration, Norms, and Commentary (3e éd.). 2006. New York, NY: Oxford University Press.

Stuss DT, & Levine B. Adult clinical neuropsychology: lessons from studies of the frontal lobes. *Annu Rev Psychol* 2002; 53:401-433.

Teel EF, Register-Mihalik JK, Troy Blackburn J, & Guskiewicz KM. Balance and cognitive performance during a dual-task: preliminary implications for use in concussion assessment. *J Sci Med Sport*. 2013; 16(3):190-4.

Telonio A, Blanchet S, Maganaris CN, Baltzopoulos V, & McFadyen BJ. The detailed measurement of foot clearance by young adults during stair descent. *J Biomech*. 2013; 46(7):1400-2.

Thomas DG, Apps JN, Hoffmann RG, McCrea M, & Hammeke T. Benefits of strict rest after acute concussion: a randomized controlled trial. *Pediatrics*. 2015; 135(2):213-23.

Turkstra LS. Should my shirt be tucked in or left out? The communication context of adolescence. *Aphasiology*. 2000; 14(4):349-364.

Vallée, M., McFadyen, B. J., Swaine, B., Doyon, J., Cantin, J.-F., & Dumas, D. Effects of Environmental Demands on Locomotion After Traumatic Brain Injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 2006; 87(6):806-813.

van Donkelaar P, Osternig L, & Chou LS. Attentional and biomechanical deficits interact after mild traumatic brain injury. *Exerc Sport Sci Rev*. 2006; 34(2):77-82.

van Iersel MB, Verbeek AL, Bloem BR, Munneke M, Esselink RA, & Rikkert MG. Frail elderly patients with dementia go too fast. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2006; 77:874-876.

Weschler D. Wechsler Memory Scale (3e éd.). 1997. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.

Wechsler, D. Wechsler Adult Intelligence Scale—Fourth Edition. 2008. San Antonio, TX: Pearson Assessment.

West TA, & Marion DW. Current recommendations for the diagnosis and treatment of concussion in sport: a comparison of three new guidelines. *J Neurotrauma*. 2014; 31(2):159-68.

Woollacott M, & Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait Posture*. 2002; 16(1):1-14.

Wright, D. L., & Kemp, T. L. The dual-task methodology and assessing the attentional demands of ambulation with walking devices. *Phys Ther*. 1992; 72(4): 306-312; discussion 313.

Yogev G, Giladi N, Peretz C, Springer S, Simon ES, & Hausdorff JM. Dual tasking, gait rhythmicity, and Parkinson's disease: which aspects of gait are attention demanding? *Eur J Neurosci* 2005; 22:1248–1256.

Yogev-Seligmann G, Hausdorff JM, & Giladi N. The role of executive function and attention in gait. *Mov Disord*. 2008; 23(3):329-42.

Yogev-Seligmann G., Hausdorff JM., & Giladi N. Do We Always Prioritize Balance When Walking? Towards an Integrated Model of Task Prioritization. *Movement Disorders*. 2012; 27(6):765-70.

Ziino C, & Ponsford J. Selective attention deficits and subjective fatigue following traumatic brain injury. *Neuropsychology*. 2006; 20(3):383-90.

Annexes

Annexe A: Feuilles d'information et formulaire de consentement

Feuillelet d'information enfant

1 sur 5



Numéro de projet : _____
(Réservé à l'administration)



I. Titre du projet :

(Référence)

Le développement de marqueurs comportementaux sensibles et écologiquement valides des modifications moteur et cognitifs chez les enfants et jeunes adultes ayant un TCC léger

II. Responsable et collaborateurs (avec affiliation professionnelle) :

(Référence)

Bradford J. McFadyen, PhD; CIRRIIS
Marie-Christine Ouellet, PhD; CIRRIIS
Sophie Blanchet, PhD; CIRRIIS
Philippe Falt, PhD, ATC, CAT(c); UQTR;
Natalie Le Sage, MD, MSc, CHU de Québec;
Katia Sirois, PhD; IRDPQ; CIRRIIS; UlaVal;
Isabelle Gagnon PhT; PhD; McGill;

III. Organisme de subvention :

(Référence)

Instituts de recherche en santé du Canada

IV. Introduction :

(Référence)

Nous invitons votre enfant à participer à un projet de recherche portant sur le développement de marqueurs comportementaux sensibles et écologiquement valides des modifications moteur et cognitifs chez les enfants et jeunes adultes ayant un TCC léger. Cependant avant d'accepter de participer à ce projet, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce feuillelet d'information et de consentement vous explique le but de ce projet de recherche, les procédures, les avantages, les risques et les inconvénients, de même que les coordonnées des personnes avec qui communiquer au besoin.

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

Afin d'alléger le texte, votre enfant désigne la personne que vous représentez dans le présent document.

Réservé à l'administration Approbation du CÉR
Dernière mise à jour : 06-2012

N° version :



Numéro de projet :

(Réserve à l'administration)

**V. Nature et objectifs du projet :***(Référence)*

Ce projet vise à mieux comprendre les impacts possibles d'un traumatisme crânio-cérébral léger, aussi appelé commotion cérébrale. L'objectif à long terme est de mieux pouvoir conseiller les personnes qui ont subi une commotion cérébrale par rapport à leur retour à leurs activités normales. Dans ce projet, nous voulons comparer des personnes qui ont subi une commotion cérébrale à des personnes qui n'en ont pas subi sur des mesures de la marche et du fonctionnement mental. Les objectifs plus précis sont de :

(1) tester différentes combinaisons de tâches de marche (ex. marcher normalement, enjamber un obstacle) et de tâches cognitives évaluant différentes dimensions de votre fonctionnement mental telles la mémoire et l'attention. Vous aurez, par exemple, à vous souvenir de mots ou de chiffres, à trouver des solutions à des problèmes, à définir des mots, à nommer des mots, ou encore à déplacer des objets. Le tout afin d'étudier si la performance des groupes varie en fonction des conditions expérimentales.

(2) d'étudier si l'âge joue un rôle dans la performance à ces tests;

(3) d'évaluer si des marqueurs posés sur le corps peuvent donner de l'information pertinente, et éventuellement

(4) de développer un protocole d'évaluation qui pourrait être utilisé par des professionnels de la santé pour mieux comprendre les effets d'une commotion cérébrale.

VI. Déroulement du projet :*(Référence)*

Si vous acceptez, votre enfant participera à deux séances de collecte de données d'environ 2h-2h30 chacune qui pourront se faire soit en une ou deux journées différentes. La recherche est pour une durée de deux ans.

Première partie :

Tout d'abord votre enfant passera des tests neuropsychologiques évaluant différentes dimensions de son fonctionnement mental telles la mémoire et l'attention. Nous lui poserons des questions concernant son état actuel physique, cognitif et psychologique, ainsi que le nombre de visites qu'il a eu dans le dernier mois avec des professionnels de la santé (ex. médecin, physiothérapeute). Votre enfant passera également des tests d'équilibre et de marche. Nous prendrons son poids, sa taille et les dimensions de différents segments corporels tels que le pied, la jambe et la cuisse.

Deuxième partie :

À votre arrivée au laboratoire, des senseurs seront collés (avec un matériel autocollant) sur la tête (par un casque), le tronc ainsi que sur les pieds de votre enfant pour que ses mouvements soient enregistrés par des systèmes de caméras à infrarouge, ainsi que par une caméra vidéo. L'installation de ces senseurs n'est pas douloureuse. Il lui sera aussi demandé de porter un microphone pour enregistrer ses réponses aux tâches cognitives. Aucun de ces systèmes n'enregistre les mouvements de son

Réserve à l'administration Approbation du C
Dernière mise à jour : 08-2012

N° version :

Feuillelet d'information enfant

3 sur 5



Numéro de projet :

(Réservé à l'administration)



corps. Nous demanderons à votre enfant de marcher une distance de 5 m selon sa vitesse naturelle et confortable dans différentes conditions. Dans certains cas votre enfant aura simplement à marcher, dans d'autre il devra enjamber un obstacle. Ces exercices seront faits en combinaison avec les tâches mentales suivantes : soit votre enfant n'aura aucune tâche mentale, soit il devra faire une tâche visuelle (regarder des mots), ou encore il devra compter ou trouver des mots selon une consigne. L'ordre des différentes conditions sera aléatoire. Il lui sera demandé de marcher à une vitesse naturelle et d'effectuer la tâche cognitive de façon la plus rapide possible.

VII. Risques potentiels et inconvénients personnels :

(Référence)

Il y a un risque mineur de chute pendant l'enjambement d'obstacle. À cet égard, s'il est jugé nécessaire, une personne sera assignée pour marcher à côté de votre enfant pendant telles conditions expérimentales. Cependant, sur la base de nos travaux antérieurs, nous ne croyons pas que les différentes tâches qui seront effectuées soient à risque de créer un déséquilibre ou une chute.

Une légère fatigue pourrait survenir lors de l'expérimentation, mais votre enfant pourra se reposer entre les essais, ou encore n'importe quand à sa demande. Si votre enfant devait subir quelque préjudice que ce soit à la suite de toute procédure reliée à ce projet de recherche, il recevra tous les soins requis par votre établissement de santé.

VIII. Avantages possibles :

(Référence)

Vous et votre enfant ne retirerez aucun bénéfice personnel de sa participation à ce projet de recherche. Toutefois, les résultats obtenus contribueront à l'avancement des connaissances scientifiques dans ce domaine.

IX. Participation volontaire et retrait de la participation :

(Référence)

Votre participation et celle de votre enfant à ce projet de recherche est volontaire. Vous et votre enfant êtes donc libres de refuser d'y participer. Votre enfant peut également se retirer de ce projet à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raisons, en faisant connaître votre décision au chercheur responsable du projet ou à l'un des membres du personnel affectés au projet. Votre décision de refuser que votre enfant participe à ce projet de recherche ou qu'il s'en retire n'aura aucune conséquence sur la qualité des

Réservé à l'administration Approbation du CÉR
Dernière mise à jour : 06-2012

N° version :

Feuillet d'information enfant

4 sur 5



Numéro de projet :

(Réservé à l'administration)



soins et des services auxquels vous avez droit ni sur votre relation avec le chercheur responsable ou à l'un des membres du personnel affectés au projet.

X. Clause de responsabilité :

(Référence)

En acceptant de participer à cette étude, votre enfant ne renonce à aucun de ses droits ni ne libère les chercheurs, le commanditaire ou les institutions impliquées de leurs obligations légales et professionnelles.

XI. Indemnité compensatoire :

(Référence)

Une indemnité compensatoire qui couvrira les frais de déplacement sera remise aux parents des participants et un certificat cadeau sera remis aux enfants

XII. Confidentialité, conservation et utilisation des résultats :

(Référence)

Le chercheur et son équipe respecteront la confidentialité suivant la loi en ce qui concerne l'anonymat des participants(tes) et le caractère confidentiel des renseignements fournis sous réserve des articles 38 et 39 de la Loi sur la protection de la jeunesse.

À des fins de surveillance et de contrôle, le dossier de recherche de votre enfant ainsi que ses dossiers médicaux, s'il y a lieu, pourront être consultés par une personne mandatée par le Comité d'éthique de la recherche de l'IRDPQ, ou par toute autre personne dûment mandatée pour vérifier la gestion ou le bon déroulement de la recherche.

Tous les renseignements recueillis demeureront strictement confidentiels dans les limites prévues par la loi. Afin de préserver son identité et la confidentialité des renseignements, il sera identifié par un code. La liste des codes reliant son nom à son dossier de recherche sera conservée, sous clé, par le chercheur responsable. Toutes les images vidéo enregistrées au laboratoire seront conservées par le responsable scientifique et serviront uniquement à la vérification du comportement moteur. Ils ne feront l'objet d'aucune référence extérieure au projet de recherche sans votre autorisation écrite. Les noms, préalablement conservés sous clé, et les images vidéo seront effacés après une période de 5 ans suivant la collecte de données.

Toute publication scientifique qui découlera de cette étude présentera des données statistiques uniquement et en aucun cas le nom des participants ne sera publié ou divulgué à qui que ce soit.

De plus, si vous acceptez en signant un formulaire de consentement à cet effet, les données et les informations anonymisées seront conservées dans une banque de

Réservé à l'administration Approbation du CEF
Dernière mise à jour : 09-2012

N° version :

Feuillelet d'information enfant

5 sur 5



Numéro de projet : _____
(Réservé à l'administration)



données permanente. La banque de donnée sera disponible, à la discrétion du Dr. Brad McFadyen, pour des fins d'analyses futures. Banque de données : dossier 2010-210-1 : *La mobilité dans les environnements variés.*

XIII. Questions sur le projet :

(Référence)

Pour toute question concernant cette étude ou encore pour un changement inhabituel de votre condition (blessures, effets secondaires, etc.) vous pouvez contacter :

• Brad McFadyen, Ph.D., chercheur principal, responsable du projet
(418) 529-9141 poste 6584

Pour des questions au regard de ses droits et recours ou pour toute question éthique, le participant peut communiquer avec Mme Isabelle Deaudelin, coordonnatrice du comité d'éthique de la recherche de l'IRDPQ au 418 529-9141, poste 6022 ou isabelle.deaudelin@irdpq.qc.ca. Les frais d'interurbain seront remboursés sur présentation d'une pièce justificative, le cas échéant.

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

En cas d'urgence, veuillez contacter le Dr Marie-Christine Ouellet, au numéro suivant : 418-529-9141 poste 6726 ou vous rendre aux urgences de l'hôpital le plus près.

Si vous avez des commentaires ou des questions à poser concernant vos droits en tant que participant à la recherche, vous pouvez vous adresser au bureau de l'éthique de la recherche du CHU de Québec au 418 525-4444 poste 52715.

Si vous avez des plaintes à formuler, vous pouvez vous adresser à la Commissaire locale aux plaintes et à la qualité des services du CHU de Québec au 418-654-2211.

Réservé à l'administration Approbation du Cf
Dernière mise à jour : 08-2012

N° version

Titre du projet : Le développement de marqueurs comportementaux sensibles et écologiquement valides des modifications moteur et cognitifs chez les enfants et jeunes adultes ayant un TCC léger.

Responsable du projet :

Bradford J. McFadyen, PhD; CIRRS;
Marie-Christine Ouellet, CIRRS;
Sophie Blanchet, CIRRS;
Philippe Fait, UQTR,
Natalie Le Sage, CIRRS
Katia Sirois, CIRRS;
Isabelle Gagnon PhT;PhD; McGill;

- 1) Le(la) responsable m'a informé(e) de la nature et des buts de ce projet de recherche ainsi que de son déroulement;
- 2) Le(la) responsable m'a informé(e) des risques et inconvénients associés à la participation de mon enfant ;
- 3) La participation de mon enfant à cette étude est volontaire et je peux le retirer en tout temps sans préjudice;
- 4) Les données de cette étude seront traitées en toute confidentialité et elles ne seront utilisées qu'aux fins scientifiques et par les partenaires identifiés au formulaire d'information;
- 5) J'ai pu poser toutes les questions voulues concernant ce projet et j'ai obtenu des réponses satisfaisantes;
- 6) La décision que mon enfant participe à cette étude ne libère ni les chercheurs, ni l'établissement hôte de leurs obligations envers mon enfant;
- 7) Mon enfant ne recevra aucune rémunération rattachée à sa participation;
- 8) Le(la) responsable m'a remis un exemplaire du feuillet d'information et du formulaire de consentement;
- 9) J'ai lu le présent formulaire et je consens volontairement à ce que mon enfant participe à cette étude;
- 10) Je désire recevoir une copie des résultats de l'étude oui non
- 11) J'accepte d'être recontacté(e) pour d'autres projets menés par les chercheurs de ce projet oui non
- 12) Je consens à ce que le dossier clinique de mon enfant soit consulté oui non
- 13) J'accepte que les données recueillies soient versées au dossier clinique de mon enfant oui non

* Dans le cas de **personnes mineures**, il est de la responsabilité du parent qui signe le présent formulaire de consentement d'informer l'autre parent de la participation de l'enfant à la recherche et de fournir les coordonnées du chercheur.
* Pour les **personnes majeures inaptes**, remplacer la signature du participant par celle du mandataire.

_____	_____	_____
Nom du participant	Date de naissance	Numéro de téléphone
_____	_____	_____
Signature du participant *	Date	
_____	_____	_____
Nom du chercheur	Date	Signature
_____	_____	_____
Assentiment de la personne mineure (si possible)	Date	Signature

Réservé à l'administration Approbation du CÉR N° version : _____
Dernière mise à jour : 06-2012

Numéro de la banque :

(Réservé à l'administration)

I. Nom de la banque de données :

(Référence)

La mobilité dans les environnements variés

II. Gestionnaire de la banque :

(Référence)

La gestion de la banque de données est assurée par le chercheur Dr. Bradford McFadyen, en collaboration avec les membres de son équipe de recherche.

III. Financement :

(Référence)

Non applicable.

IV. Introduction :

(Référence)

Nous sollicitons votre consentement pour conserver vos données de façon permanente dans une banque de données. Une banque de données de recherche se définit comme un ensemble d'information ou de données (nominalisées, dénominalisées ou anonymisées) qui, à la fin d'un projet de recherche, sont archivées pour des fins de recherche ultérieure. Les buts, les contenus scientifiques et la finalité pour lesquels la banque est créée de même que son niveau et ses règles d'accessibilité sont connus et ont fait l'objet d'une approbation.

Cependant, avant d'accepter, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire d'information et de consentement vous fournit le but de la banque de données, la procédure, les avantages, les risques et les inconvénients, de même que les coordonnées des personnes avec qui communiquer au besoin.

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

Numéro de la banque :

(Réservé à l'administration)

V. Nature et objectifs de la banque :

(Référence)

L'objectif de cette banque est de cumuler des données sur la capacité de marche dans les environnements variés de différentes populations. Cette banque inclue également des informations connexes concernant des capacités cognitives (attention, mémoire, etc.) et physiques (niveau d'activité, équilibre, marche, etc). Ces informations sont conservées sous forme papier ou informatisée et sont anonymisées

VI. Risques potentiels et avantages possibles :

(Référence)

Les informations associées à vos données seront anonymisées, ainsi aucun risque ne sera associé avec la conservation de données. Vous ne retirerez aucun bénéfice de cette banque de données. Toutefois, les résultats conservés contribueront à l'avancement des connaissances dans ce domaine de recherche.

VII. Droits du participant :

(Référence)

Vous êtes libre de participer ou non à cette banque de données. Cependant, une fois versées dans la banque, vos données ne pourront plus être retirées de la banque car elles seront devenues anonymes.

VIII. Délai de conservation :

(Référence)

Les données de la banque seront gardées pendant une période indéterminée, c'est-à-dire sans terme fixé. Les bandes vidéographiques ne seront pas conservées dans la banque de données.

IX. Confidentialité et utilisation des résultats :

(Référence)

Cette banque de données est un outil susceptible de contribuer au développement de la recherche concernant le contrôle de la marche dans les environnements variés par différentes populations. À cet effet, les données pourront être utilisées dans le cadre d'études ultérieures. En aucun temps, cette banque de données ne sera utilisée à des fins commerciales.

Par ailleurs, afin de nous assurer que les opérations de la banque se déroulent de façon adéquate, il est possible qu'un vérificateur externe ou un représentant d'une agence gouvernementale ait



FEUILLET D'INFORMATION RELATIF
AUX DONNÉES CONSERVÉES
DANS UNE BANQUE DE DONNÉES

3

Numéro de la banque :

(Réservé à l'administration)

accès à vos données. Un représentant d'un comité d'éthique de la recherche pourrait également avoir accès à vos données.

X. Accès à la banque de données:

(Référence)

Ces données pourront être utilisées par d'autres chercheurs, des étudiants et des cliniciens dans le cadre de leur travail. Les personnes intéressées à utiliser ces données devront remplir un formulaire en indiquant les objectifs de leur démarche scientifique ou clinique ainsi que l'utilisation qu'elles entendent faire de ces données; ce formulaire devra être adressé à la personne responsable de la gestion de la banque de données. Les utilisateurs devront également indiquer le nom de la banque dans la publication de leurs résultats. Il n'y aura pas de frais pour l'utilisation de ces données.

XI. Questions à propos de la banque :

(Référence)

Pour toutes questions, vous pouvez communiquer avec Bradford J. McFadyen, 418-529-9141 poste 6584

Pour des questions d'ordre éthique, vous pouvez communiquer avec Isabelle Deaudelin au 418-529-9141 poste 6022

Réservé à l'administration Approbation du CÉR
Dernière mise à jour : 08-2012

version :

2



FORMULAIRE DE CONSENTEMENT
RELATIF AUX DONNÉES CONSERVÉES
DANS UNE BANQUE DE DONNÉES

Page 1 sur 1

Numéro de la banque : _____

Nom de la banque : La mobilité dans les environnements variés

Responsable de la banque : Bradford J. McFadyen, Ph.D.

- 1) Le(la) responsable m'a informé(e) de la nature et des buts de la banque de données ainsi que de son fonctionnement;
- 2) Le(la) responsable m'a informé(e) des risques et inconvénients associés à ma participation;
- 3) Les données de cette banque seront traitées en toute confidentialité et elles ne seront utilisées qu'aux fins scientifiques et par les personnes identifiées au feuillet d'information;
- 4) J'ai pu poser toutes les questions voulues concernant cette banque de données et j'ai obtenu des réponses satisfaisantes;
- 5) Ma décision de participer à cette banque de données ne libère ni les chercheurs, ni l'établissement hôte de leurs obligations envers moi;
- 6) Je sais qu'aucune rémunération n'est rattachée à ma participation;
- 7) Le(la) responsable m'a remis un exemplaire du feuillet d'information et du formulaire de consentement;
- 8) J'ai lu le présent formulaire et je consens volontairement à participer à cette banque de données;
- 9) J'ai été informé que je ne peux faire retirer mes données de la banque étant donné qu'elles ont été rendues anonymes.

* Dans le cas de **personnes mineures**, il est de la responsabilité du parent qui signe le présent formulaire de consentement d'informer l'autre parent de la participation de l'enfant à la banque de données et de fournir les coordonnées du chercheur.
* Pour les **personnes majeures inaptes**, remplacer la signature du participant par celle du mandataire.

_____ Nom du participant	_____ Date de naissance	_____ Numéro de téléphone
_____ Signature du participant *	_____ Date	
_____ Nom du chercheur	_____ Date	_____ Signature
_____ Assentiment de la personne mineure (si possible)	_____ Date	_____ Signature

Réservé à l'administration Approbation du CÉR
Dernière mise à jour : 08-2012

N° version : 1

Annexe B : Questionnaire de recrutement

QUESTIONNAIRE TÉLÉPHONIQUE

Nom : _____ Prénom : _____ Âge : _____

Répondant : _____

Né à combien de semaines de gestations ? _____

1-Qu'est-ce qui s'est passé lors de l'accident (description de l'accident) :

2-Est-ce que vous avez eu une perte de conscience? Oui Non

Si oui combien de temps ? _____

3-Avez-vous eu une perte de mémoire? Oui Non

4-Quel est le premier évènement que vous vous souvenez après l'accident? _____

5-Quels symptômes étaient présents après l'accident?

Symptômes	OUI	NON
Confusion		
Mal de tête		
Étourdissement ou vertige		
Vomissement ou nausées		
Problème de concentration		
Problème de vision (ex : embrouillée ou double)		
Irritabilité, se fâche facilement		
Anxiété		
Problème de sommeil		
Fatigue		
Sentiments de dépression ou d'être sur le bord des larmes		
Sentiments de frustration ou d'impatience		
Convulsion		

Céphalées		
-----------	--	--

Autres : _____

6-Avez-vous consulté un à l'hôpital ou à une clinique ? _____

7-Après combien de temps avez-vous consulté suite à l'accident ? _____

8-Avez-vous consulté un médecin ? _____

9-Quel était le diagnostic qui vous a été donné ? _____

10-Est-ce que le mot **COMMOTION** a été utilisé ? _____

11-Est-ce qu'il a parlé de grade ou de complexité ? _____

12-Quels examens médicaux ont été passés par le professionnel de la santé que vous avez consulté: _____

13-Quels étaient les résultats ? _____

14-Est-ce qu'on vous aurait fait part de votre score qu'on appelle le score de Glasgow ? _____

15- Combien de temps les symptômes ont-ils persisté ? _____

16-Y en-a-t-il certains qui persistent toujours ? _____

Si oui
lesquels: _____

Avez-vous eu d'autres blessures lors de l'accident:?

Médicaments sous prescriptions (nom, dose,
fréquence) : _____

DISPONIBILITÉS POUR LES RENCONTRES

LUNDI	MARDI	MERCREDI	JEUDI	VENDREDI
AM	AM	AM	AM	AM
PM	PM	PM	PM	PM

COMMENTAIRES

—

Annexe C: Feuille de collecte de données

Essai	Condition	Stroop	Erreur	VF	Lettre	# rép.	Math	# rép.	Lead	Commentaires
	baseline 1	✓	<input type="checkbox"/>							
	baseline 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✓	P					
	baseline 1			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		✓ 80			
	no obs									
	no obs			<input type="checkbox"/>						
	no obs									
	no obs			<input type="checkbox"/>						
	no obs	✓ 1								
	no obs			✓	C					
	no obs			✓	F					
	no obs	<input type="checkbox"/>								
	no obs			<input type="checkbox"/>			✓ 57			
	no obs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		✓ 43			
	no obs	✓ 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
	no obs			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	no obs	✓ 3		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	no obs	✓ 4	<input type="checkbox"/>							
	no obs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
	no obs	<input type="checkbox"/>		✓	D					
	no obs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			✓ 72			
	no obs	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		✓ 50			
	no obs	<input type="checkbox"/>		✓	G		<input type="checkbox"/>			
	no obs	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			
	no obs	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			
	no obs	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			
	no obs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
	obs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✓	T					
	obs									
	obs	✓ 5	<input type="checkbox"/>							
	obs			✓	A					
	obs	✓ 6	<input type="checkbox"/>							
	obs	✓ 7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			
	obs			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	✓ 71			
	obs			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	✓ 41			
	obs	✓ 8	<input type="checkbox"/>							
	obs									
	obs			✓	E					
	obs			<input type="checkbox"/>						
	obs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
	obs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				✓ 64			
	obs			✓	B					
	obs			<input type="checkbox"/>			✓ 56			
	obs			<input type="checkbox"/>						
	obs			<input type="checkbox"/>						
	obs						<input type="checkbox"/>			

	obs_2	✓ 9	<input type="checkbox"/>						
	obs_2								
	obs_2			✓	M				
	obs_2	✓ 10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	obs_2			<input type="checkbox"/>					
	obs_2			<input type="checkbox"/>			✓ 69		
	obs_2	✓ 11	<input type="checkbox"/>						
	obs_2	✓ 12							
	obs_2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✓	R				
	obs_2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✓	S				
	obs_2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			✓ 42		
	obs_2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			✓ 52		
	obs_2								
	obs_2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				✓ 63		
	obs_2			<input type="checkbox"/>					
	obs_2			✓	I				
	obs_2			<input type="checkbox"/>					
	obs_2			<input type="checkbox"/>					
	obs_2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	baseline 2	✓	<input type="checkbox"/>						
	baseline 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✓	L				
	baseline 2			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		✓ 87		

**Annexe D : *Rivermead postconcussion Symptom
Questionnaire***

GRILLE DE RIVERMEAD
(Adaptation française modifiée)

©Rivermead Rehabilitation Center

Nom: _____ Date de l'accident: _____
Date: _____ Évaluation no: _____

Veillez encercler, pour chacun des problèmes, le chiffre qui décrit le mieux son intensité:

0= aucun problème (ou aucun changement si présent avant l'accident)
1= est un problème léger
2= est un problème modéré
3= est un problème sévère

En comparaison d'avant l'accident, souffrez-vous maintenant (dans les dernières 24 heures) de:

Maux de tête	0	1	2	3
Autre douleur	0	1	2	3
Précisez:				
Étourdissements ou vertiges	0	1	2	3
Nausées ou vomissements	0	1	2	3
Sensibilité exagérée aux bruits	0	1	2	3
Problème de sommeil	0	1	2	3
Fatigue	0	1	2	3
Irritabilité, se fâche facilement	0	1	2	3
Sentiments de dépression ou d'être au bord des larmes	0	1	2	3
Sentiments de frustration ou d'impatience	0	1	2	3
Pertes de mémoire ou oublis	0	1	2	3
Baisse de la concentration	0	1	2	3
Ralentissement de la pensée	0	1	2	3
Vision embrouillée ou double ou autre problème visuel	0	1	2	3
Précisez:				
Autres difficultés:	0	1	2	3
Précisez:				

Total: _____
Moyenne: _____

**Annexe E : *Ohio State University TBI Identification Method-
Questionnaire***

Nom : _____ Âge : _____ Initiales du professionnel : _____ Date : _____

Ohio State University TBI Identification Method – Questionnaire

Étape 1

Posez les questions 1 à 5 ci-dessous. Pour chacune des blessures mentionnées, reportez la cause et tous détails énoncés dans le tableau associé à l'étape 1. Aucune information supplémentaire sur la perte de conscience n'est nécessaire à cette étape.

«Je vais vous poser des questions à propos de blessures à la tête ou au cou que vous pourriez avoir subi pendant votre vie.»

1. Au cours de votre vie, avez-vous déjà été hospitalisé ou traité suite à une blessure à la tête ou au cou? Cela comprend aussi les blessures subies pendant l'enfance dont vous vous rappelez ou vous êtes fait raconter.

Non Oui – Noter dans le tableau
2. Au cours de votre vie, avez-vous déjà été blessé à la tête ou au cou lors d'un accident d'auto ou de tout autre véhicule comme un vélo, une moto, un VTT, etc.?

Non Oui – Noter dans le tableau
3. Au cours de votre vie, avez-vous déjà été blessé à la tête ou au cou en faisant une chute ou en étant frappé par quelque chose? Par exemple, en tombant d'un vélo ou d'un cheval, en faisant du patin à roues alignées, en tombant sur la glace ou en étant frappé par une roche? Avez-vous déjà subi une blessure à la tête ou au cou en faisant du sport, ou dans un terrain de jeu ou une cour de récréation?

Non Oui – Noter dans le tableau
4. Au cours de votre vie, avez-vous déjà été blessé à la tête ou au cou lors d'une bataille, soit en étant frappé par quelqu'un ou secoué violemment? Avez-vous déjà reçu un projectile à la tête (ex. : balle)?

Non Oui – Noter dans le tableau
5. Au cours de votre vie, avez-vous déjà été près d'une explosion? Par exemple, si vous avez été militaire, pensez à des incidents reliés au combat ou aux pratiques avec mises en situation.

Non Oui – Noter dans le tableau

*** Instructions pour l'administrateur : Si l'une des réponses aux questions précédentes est «oui», passez à l'étape 2. Si toutes les réponses aux questions précédentes sont «non», passez à l'étape 3.*

Étape 2

Si une réponse positive a été obtenue à l'étape 1, posez les questions additionnelles ci-dessous à propos de toutes les blessures rapportées à l'étape 1 et ajoutez les détails dans le tableau ci-dessous.

Avez-vous été assommé (KO) ou avez-vous perdu conscience? - Si oui, pendant combien de temps?
 - Si non, avez-vous été étourdi, sonné ou avez-vous eu une perte ou un blanc de mémoire suite à votre blessure?
 Quel âge aviez-vous?

ÉTAPE 1 Cause de la blessure	ÉTAPE 2 Perte de conscience / KO			Étourdi/Perte de mémoire		Âge	
	Aucune	< 30 min	30 min à 24h	>24h	Oui		Non

Si > 1 blessure avec perte de conscience : Combien? _____ Plus longue perte de conscience? _____
 Combien >30 min? _____ Plus jeune âge? _____

Nom : _____ Âge : _____ Initiales du professionnel : _____ Date : _____

Étape 3

Posez les questions suivantes afin de documenter l'histoire de TCCL multiples. Complétez le tableau ci-dessous.

Avez-vous déjà connu une période de temps durant laquelle vous avez subi des impacts répétés à la tête, par exemple, dans un contexte de consommation, de sport de contact ou d'expérience militaire?

Si oui, quelle était la conséquence, l'effet typique ressenti suite à un impact? Perdiez-vous conscience (KO)?

Si non, étiez-vous étourdi ou aviez-vous des trous de mémoire causé par la blessure?

Quel a été la conséquence la plus sévère suite à une de vos blessures à la tête?

Quel âge aviez-vous lorsque ces blessures répétées ont débuté? Et quand elles se sont terminées?

ÉTAPE 3 Cause des blessures répétées	Effet typique		Conséquence la plus sévère				Âge	
	Étourdi/Perte de mémoire (Pas de KO)	Perte de conscience/KO	Étourdi/Perte de mémoire (Pas de KO)	Perte de conscience <30 min	Perte de conscience 30 min - 24h	Perte de conscience >24h	Début	Fin

Interprétation

Une personne avec l'une des caractéristiques suivantes a un risque plus élevé de vivre des complications :

- Un TCC modéré ou sévère
- Un TCC avec perte de conscience avant l'âge de 15 ans
- Deux TCC ou plus vécus dans une courte période de temps, ce qui inclut une période d'impacts multiples à la tête
- Un TCCL subi dans les dernières semaines ou un TCC modéré/sévère dans les derniers mois
- Un TCC combiné à d'autres altérations/déficits neurologiques déjà subis

Pour plus d'informations:

- Ohio Valley Center at OSU: www.ohiovalley.org/informationeducation
- BrainLine.org: www.brainline.org

