

Université de Montréal

Évaluation précoce de la vitesse de coordination visuomotrice chez des patients atteints d'un
traumatisme craniocérébral léger

Par

Lucie C. Frenette

Département de psychologie, Faculté des Arts et des Sciences

Essai doctoral présenté en vue de l'obtention du grade de doctorat
en psychologie, option neuropsychologie clinique

Janvier 2020

© Lucie C. Frenette, 2020

Résumé

Contexte : L'objectif de cette étude est d'explorer la vitesse de coordination visuomotrice après un traumatisme craniocérébral léger (TCCL) et d'identifier les prédicteurs de la performance de celle-ci en phase précoce de récupération. Méthode : Un total de 99 patients TCCL et 32 participants en santé a été recruté. Dix-neuf participants avaient subi un TCCL complexe (CT scan positif) et 80 participants étaient atteints d'un TCCL simple (CT scan négatif). L'âge, le sexe et le niveau de scolarité ainsi que les performances aux tests de *Repérage de symboles*, *Codes*, *Vocabulaire* du *WAIS-IV* ont rétrospectivement été recueillis ainsi que des mesures de symptômes post-commotionnels (*Post-Concussion Symptom Scale-Revised*) et de dépression (*Beck Depression Inventory II*). La vitesse de coordination visuomotrice a été mesurée à l'aide du *Grooved Pegboard Test*. Résultats: Aucune différence de performance n'a été observée entre les groupes dans la performance obtenue avec la main dominante et la main non dominante ($p > .05$). L'âge, le sexe et la vitesse de traitement de l'information (*Repérage de symboles* et *Codes*) étaient des prédicteurs significatifs de la performance au *Grooved Pegboard Test*. Pour la main dominante, la sévérité des symptômes post-commotionnels prédisait également la performance. Cependant, la présence de symptômes de dépression et la réserve cognitive, évaluée par le niveau de scolarité et un test de vocabulaire, n'étaient pas associées aux performances au *Grooved Pegboard Test*. Conclusion: Aucune différence de la vitesse de coordination visuomotrice n'a été observée entre le groupe de patients TCCL et les contrôles. Par ailleurs, être un homme, être plus âgé et plus lent aux épreuves de vitesse de traitement du *WAIS-IV* a été associé à de moins bonnes performances au *Grooved Pegboard Test*. De surcroît, les symptômes post-commotionnels semblent interférer avec la performance de la main dominante. Enfin, l'état dépressif ou la réserve cognitive n'ont pas été associés à la vitesse de la coordination motrice à la suite d'un TCCL.

Mots-clés : traumatisme craniocérébral léger; commotion cérébrale; coordination visuomotrice; vitesse de traitement, neuropsychologie clinique.

Abstract

Background: The objective of this study is to explore the visuomotor coordination after a mild traumatic brain injury (MTBI) and to identify predictors of its performance in the early recovery phase. **Method:** A total of 99 MTBI patients and 32 healthy participants were recruited. Nineteen participants had undergone a complicated MTBI (positive CT scan) and 80 participants had uncomplicated MTBI (negative CT scan). Age, gender and education level as well as performance on the *WAIS-IV Symbol Search, Coding, Vocabulary* tests were retrospectively collected as well as measures of post-concussion symptoms (*Post-Concussion Symptom Scale-Revised*) and depression (*Beck Depression Inventory II*). The visuomotor coordination was measured using the Grooved Pegboard Test. **Results:** No differences in performance with the dominant hand or with the non dominant hand were observed between the groups ($p>.05$). Age, gender and speed of information processing (*Symbol search and Coding*) were significant predictors of *Grooved Pegboard Test* performance. For the dominant hand, the severity of post-concussive symptoms also predicted performance. However, the presence of depressive symptoms and cognitive reserve assessed by education level and a vocabulary test were not associated with *Grooved Pegboard Test* performance. **Conclusion:** No difference in visuomotor coordination speed was observed with the MTBI patient groups and the controls. However, it appears that being a man, being older and slower in the *WAIS-IV* processing speed tests are associated with poorer performance in the *Grooved Pegboard Test*. In addition, post-concussive symptoms appear to interfere with the performance of the dominant hand. Finally, the depressive state or cognitive reserve was not associated with speed and motor coordination following MTBI.

Keywords : mild traumatic brain injury; concussion; visual motor coordination; speed of processing, clinical neuropsychology.

Table des matières

Résumé	3
Abstract	5
Table des matières	7
Liste des tableaux	9
Liste des figures	11
Liste des sigles et abréviations	13
Remerciements	17
Contexte théorique	19
Définition du traumatisme craniocérébral.....	19
Mécanismes pathologiques du TCC	19
Symptômes physiques, émotionnels et cognitifs à la suite d'un TCCL	22
Atteintes de la vitesse de traitement et de la coordination motrice à la suite d'un TCC.....	23
L'âge	27
Le sexe	28
Les symptômes dépressifs et post-commotionnels.....	28
La réserve cognitive.....	30
Objectifs et hypothèses de l'étude	32
Objectif et hypothèse 1	33
Objectif et hypothèse 2	34
Méthode	35
Participants.....	35
Outils de mesure	37

Procédure	39
Analyses statistiques	39
Résultats	41
Données sociodémographiques et liées à l'accident	41
Premier objectif.....	43
Analyses préliminaires	43
Analyse de variance multivariée sur la main dominante et sur la main non dominante	43
Deuxième objectif	45
Prédiction du temps de complétion de la main dominante	46
Prédiction du temps de complétion de la main non dominante	49
Discussion	52
Différences de vitesse de coordination visuomotrice entre les groupes	52
Variables de prédiction de la vitesse de coordination motrice à la suite d'un TCCL	54
Âge et sexe	55
Vitesse de traitement de l'information.....	56
Symptômes post-commotionnels et dépressifs.....	56
Réserve cognitive	58
Limites de l'étude	58
Recherches futures.....	60
Retombées cliniques	61
Conclusions.....	62
Références bibliographiques.....	65

Liste des tableaux

Tableau 1. –	Caractéristiques sociodémographiques et liées à l'accident	42
Tableau 2. –	Performances au Grooved Pegboard Test	42
Tableau 3. –	Résultats obtenus aux tests et questionnaires pour le groupe de patients TCCL simple et complexe (n = 99)	46
Tableau 4. –	Analyse de régression hiérarchique du temps de complétion de la main dominante au Grooved Pegboard Test	49
Tableau 5. –	Analyse de régression hiérarchique du temps de complétion de la main non dominante au Grooved Pegboard Test	51

Liste des figures

Figure 1. – Temps de complétion pour la main dominante.....	44
Figure 2. – Temps de complétion pour la main non dominante	45

Liste des sigles et abréviations

APT : Amnésie post-traumatique

BDI-II : Beck Depression Inventory II

CEREP : Comité d'éthique de la recherche en éducation et en psychologie

CPRS : Comprehensive Psychopathological Rating Scale

CT Scan : Tomodensitométrie

CUSM : Centre universitaire de santé McGill

CUSM-HGM : Centre Universitaire de Santé McGill- Hôpital Général de Montréal

GSC : Échelle de Coma de Glasgow

INESSS : Institut national d'excellence en santé et en services sociaux

IRM : Imagerie par résonance magnétique

OMS : Organisation mondiale de la santé

ONF : Ontario Neurotrauma Foundation

PCS-R : Post-Concussion Symptom Scale-Revised

QI : Quotient intellectuel

SPC : Symptômes post-commotionnels

TCC : traumatisme craniocérébral

TCCL : traumatisme craniocérébral léger

TOPF : Test of Premorbid Functioning

WAIS-IV : L'Échelle d'intelligence de Wechsler pour adultes – Quatrième édition

Our greatest weakness lies in giving up. The most certain way to success is always to try one more time.

Thomas Edison

Remerciements

Je souhaite remercier sincèrement toutes les personnes impliquées de près ou de loin dans cet essai doctoral. Un remerciement spécial à ma directrice de recherche, Docteure Éline de Guise qui a su me guider à travers les différents processus de recherche qui ont mené à la rédaction de cet essai. Docteure de Guise fût également un mentor durant l'entièreté de ma formation doctorale. Celle-ci a toujours été présente à mes côtés pour m'orienter et me conseiller à travers les années. Elle m'a permis d'approfondir au maximum mes connaissances en neuropsychologie afin de pouvoir être fière aujourd'hui du travail réalisé dans le cadre de mon doctorat. Par son écoute et son appui constant, j'ai été en mesure de réussir avec succès. Je suis sincèrement reconnaissante d'avoir été supervisée par Dre de Guise.

Je remercie également ma famille et mes amis qui ont su me soutenir durant toutes ces années. À mes parents, Gisèle et Denis ainsi qu'à mon frère Jérémie, qui furent des sources constantes d'appui dans mes différents projets personnels et professionnels. Vous avez toujours été là, vous l'êtes encore et je sais que vous le serez dans l'avenir. Merci pour les valeurs et le sens du travail que vous m'avez appris. J'ai pu entreprendre ces longues études qui me passionnent tout en ayant un sens de la persévération remarquable grâce à vous. Une mention toute spéciale à mon conjoint, Mathieu, qui a été à l'écoute et qui m'a encouragée durant la dernière droite de ce marathon. Je remercie le destin de t'avoir mis sur ma route, puisque tu m'apportes la joie et le bonheur.

Enfin, à toutes les personnes mentionnées ci-dessus, je vous remercie sincèrement d'avoir fait partie intégrale du succès dans mes études. Maintenant, je me tourne vers l'avenir afin de faire briller les étoiles de la neuropsychologie et réaliser mes prochaines aspirations.

Contexte théorique

Définition du traumatisme craniocérébral

Le traumatisme craniocérébral (TCC) est une atteinte cérébrale caractérisée par une destruction ou une dysfonction du tissu cérébral provoquée par le contact brusque (déformation, accélération, décélération ou rotation) entre celui-ci et la boîte crânienne (Menon, Schwab, Wright et Maas, 2010). Le TCC peut se définir comme une pathologie du cerveau résultant de deux types de lésions, soit une lésion primaire, c'est-à-dire une force mécanique qui agit de manière diffuse sur le cerveau et une lésion secondaire, consistant en des changements biomoléculaires et physiologiques consécutifs aux atteintes primaires (Grieve et Zink, 2009). Le TCC se divise en trois niveaux de sévérité, soit léger, modéré et sévère. Pour le TCC léger (TCCL), le score à l'Échelle de Coma de Glasgow (GCS) se situe entre 13 et 15, la durée de l'amnésie post-traumatique (APT) est inférieure à 24 heures et la perte de conscience est de moins de 30 minutes (Von Holst et Cassidy, 2004; Centers for Disease Control and Prevention, 2015). Il est important de noter que deux sous-types de diagnostics sont utilisés pour décrire le TCCL, soit le TCCL simple et le TCCL complexe (Iverson 2006). L'absence de lésion cérébrale traumatique visualisée à la tomodensitométrie définit un TCCL simple, alors que le TCCL complexe est caractérisé par la présence d'une fracture du crâne et/ ou d'une blessure cérébrale traumatique telle qu'une hémorragie, une contusion ou de l'œdème intracrânien.

Mécanismes pathologiques du TCC

La pathophysiologie du TCC est complexe. D'abord, la lésion primaire produit deux impacts principaux considérés comme particulièrement importants : soit le contact direct du cerveau sur

la boîte crânienne et l'accélération-décélération consistant au contrecoup provoqué par le mouvement du cerveau. La lésion primaire se caractérise par des fractures du crâne et/ou des hématomes (Graham, McIntosh, Maxwell et Nicoll, 2000). Les hématomes extraduraux et sous-duraux sont fréquemment observés après un TCC, tout comme les hématomes dans le parenchyme cérébral. Ces lésions focales se produisent habituellement dans les régions orbitofrontale, temporale et occipitale (Gurdjian, 1975). De plus, des lésions multifocales, qui sont davantage diffuses, induisent des bris de cisaillement entre les zones reliant la matière grise (les neurones) et la matière blanche (les axones reliant les neurones aux synapses) (Adams, et al. 1989; Smith, Meaney et Shull, 2003; Werner en Engelhard, 2007). L'accélération-décélération subie lors du TCC résulte en un mouvement de différents tissus cérébraux les uns par rapport aux autres. Par conséquent, des tensions excessives sur les axones sont observées et rompent les liens entre eux, ce qui provoque alors des lésions axonales diffuses. Très brièvement, ce type de lésion entraîne un étirement des axones dans les heures ou les jours suivants le trauma résultant en l'ouverture de canaux de calcium situés sur les neurones. La présence marquée de calcium dans les cellules les endommage et provoque l'apoptose, soit la mort cellulaire programmée. Bien que les axones restent habituellement connectés entre eux, des dommages se produisent souvent autour des nœuds de Ranvier. De fait, les axones sont formés d'une gaine isolante appelée gaine de myéline qui permet un passage rapide de l'information. Les points où cette gaine s'interrompt et laisse l'axone à nu sont nommés nœuds de Ranvier. Ce sont des points où sont concentrés la plupart des canaux sodiques et potassiques et où on observe la formation des influx nerveux. Les atteintes subites à ces nœuds perturbent ainsi le transport de l'influx nerveux résultant en une diminution de la vitesse de passage de l'information. Par ailleurs, des dommages

secondaires provoqués par la lésion initiale tels que l'ischémie, la pression intracrânienne augmentée, l'infection, l'inflammation et la neurodégénérescence peuvent également perturber le fonctionnement cognitif à la suite d'un TCC.

Plus spécifiquement au niveau du TCCL, Blumbergs et ses collègues ont démontré la présence de dommages caractérisés par des lésions axonales diffuses dans le corps calleux, dans le lobe frontal ainsi que dans le lobe temporal chez des patients en post-mortem. Ceci suggère que l'intégrité de la matière blanche dans ces structures est plus vulnérable aux dommages causés par le TCCL (Blumbergs et al., 1994). Les lésions axonales diffuses ont pu également être observées à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) dans les zones mentionnées ci-dessus (Gentry et al., 1988; Gale et al., 1995; Bigler, 2001, 2003; Gale et al., 1995; Gentry et al., 1988; Levin et al., 1987, 1921; MacKenzie et al., 2002; Mittl et al., 1994). Bien que cette technique de neuroimagerie soit assez précise dans le cas de lésions plus sévères, elle reste très limitée dans l'estimation de la quantité de dégâts plus subtils causés par un TCCL. Jones et ses collègues ont démontré que l'IRM et la tomographie assistée par ordinateur (CT scan) ne parviennent pas à détecter les lésions qui sont évidentes au niveau post-mortem, en particulier les lésions axonales non hémorragiques (Jones et al., 1998). Ainsi, l'absence de pathologies visibles par les différentes techniques de neuroimagerie n'équivaut pas à une absence totale de lésions. Les dommages structurels peuvent ainsi tomber en dessous du seuil de détection actuel et sous-estimer les dommages réels d'une telle blessure (Bigler, 2001; Bigler et Snyder, 1995).

Symptômes physiques, émotionnels et cognitifs à la suite d'un TCCL

Diverses conséquences physiques, cognitives, émotionnelles et comportementales sont fréquemment observées à la suite d'un TCCL, de même que des difficultés fonctionnelles (Rabinowitz et Levin, 2014; Arciniegas et Wortzel, 2014). Au niveau physique, des maux de tête, des nausées et des vomissements, une vision trouble ou double, des problèmes d'équilibre, des vertiges, de la sensibilité à la lumière ou au bruit ainsi que de l'acouphène peuvent être rapportés (ONF, 2018). Les conséquences émotionnelles ou comportementales sont la somnolence, la fatigue, l'irritabilité, des symptômes dépressifs ou anxieux ou des difficultés d'endormissement. En ce qui concerne la cognition, au niveau qualitatif, le patient peut se sentir au ralenti, se sentir comme dans un brouillard ou étourdi, éprouver des problèmes de concentration ou de mémoire (ONF, 2018).

Des auteurs ont également rapporté des différences au niveau des symptômes et des déficits entre un groupe de patients ayant subi un TCCL simple (CT scan sans particularité) et un groupe de patients ayant subi un TCCL complexe. Une étude a mis en évidence que les patients ayant subi un TCCL complexe et hospitalisé en centre tertiaire de traumatologie étaient davantage à risque de présenter de la comorbidité et de la mortalité en phase précoce de réadaptation (Dagher, Richard-Denis, Lamoureux, de Guise et Feyz, 2013). De plus, le fait d'avoir subi un TCCL complexe était associé à un plus long délai avant le retour à la maison et à de plus importants déficits cognitifs et fonctionnels que d'avoir subi un TCCL simple. Une autre étude, cette fois-ci réalisée en contexte de clinique externe, a mis en évidence une diminution plus marquée de l'ouïe et davantage de vertiges positionnels vestibulaires auprès de patients ayant été diagnostiqués avec un TCCL complexe (de Guise et al., 2010).

Une méta-analyse portant sur les impacts du TCCL sur la cognition a révélé que les fonctions exécutives, le rappel différé en mémoire et les fonctions visuospatiales sont les fonctions cognitives les plus vulnérables à la suite d'un TCCL (Karr, Areshenkoff et Garcia-Barrera, 2014). Cette étude révèle également que la fluence verbale serait aussi un domaine cognitif fréquemment affecté par le TCCL (Karr, Areshenkoff et Garcia-Barrera, 2014). D'autres études ont également démontré des atteintes aux plans de l'attention, de la flexibilité cognitive ainsi qu'un ralentissement moteur (Guskiewicz, Ross et Marshall, 2001; McCrea et al., 2003 Slobounov, Sebastianelli et Simon, 2002; van Donkelaar, Osternig et Chou, 2006).

Atteintes de la vitesse de traitement et de la coordination motrice à la suite d'un TCC

De manière générale, le ralentissement moteur influence l'efficacité de la coordination motrice. Celle-ci qualifie l'adresse et la dextérité avec laquelle une action motrice volontaire est effectuée. Il s'agit de l'ajustement spatio-temporel des contractions musculaires pour produire des actions appropriées dans un but précis (Rigal, 2003). L'efficacité motrice rapide et adéquate se développe dès la petite enfance via les habiletés motrices fondamentales qui se spécialiseront graduellement en habiletés complexes (Gabbard, 2004; Haywood et Getchell, 2001). Ces habiletés n'émergent pas naturellement, elles se développent grâce à plusieurs facteurs, dont l'enseignement, le développement neuromusculaire et l'effet de nombreuses répétitions (Valentini et Rudisill, 2004). De surcroît, ces habiletés se développent aussi grâce à la vision, c'est-à-dire via une intégration visuomotrice permettant ainsi la coordination vision-action. Avec la croissance, la coordination visuomotrice aide à faire des tâches de plus en plus complexes, comme celles nécessitant la dextérité manuelle. Celle-ci peut se diviser en deux, soit la dextérité

globale et la dextérité fine (Goldberg, Neifeld, Wolfe et Goldberg, 2008). La dextérité globale est principalement associée aux mouvements globaux des bras et des mains, alors que la dextérité fine réfère davantage aux mouvements des doigts permettant d'intégrer de la précision et de la vitesse à notre mouvement ainsi qu'à manipuler de très petits objets (Pennarthur, Contreras, Arcaute et Dowling, 2003). La dextérité manuelle et la coordination visuomotrice contribuent à faire plusieurs tâches de la vie quotidienne, comme écrire, cuisiner ou conduire. Évidemment, l'efficacité de la coordination visuomotrice est directement influencée par la vitesse à laquelle les informations circulent dans les voies neuronales. La vitesse de coordination visuomotrice est donc influencée par la vitesse de traitement de l'information et il est parfois difficile de dissocier ces deux composantes, notamment en clinique.

En outre, l'une des fonctions fréquemment atteintes au cours des premiers mois et mêmes années post TCC, toutes sévérités confondues, est la vitesse de traitement l'information (Guskiewicz, Ross et Marshall, 2001; Slobounov, Sebastianelli et Simon, 2002; Spikman, van der Naalt, van Weerden et van Zomeren, 2004; Mathias et Weaton, 2007; Cullen, Krakowski et Taggart, 2014; Gooden et al., 2017; Van Der Horn et al., 2017; Yue et al., 2017). Celle-ci se définit comme la vitesse à laquelle les processus cognitifs sont accomplis (Eysenck, 1987) et elle joue un rôle primordial dans la capacité de traiter l'information rapidement et efficacement et influence directement les comportements, notamment la coordination visuomotrice. Par exemple, lors de la tâche du *Grooved Pegboard Test* qui mesure la vitesse de coordination visuomotrice, les patients atteints d'un TCC modéré ou sévère ont montré une lenteur plus importante que les personnes en santé, et ce, trois mois post accident (Skandsen, Finnanger, Andersson, Lydersen, Brunner et Vik, 2010).

Comme mentionné précédemment, l'intégrité de la matière blanche est l'une des atteintes les plus fréquentes lors d'un TCCL, cette perturbation affectant la vitesse de transmission neuronale, dont la transmission de l'information, affecte ainsi directement la vitesse de coordination visuomotrice. En ce sens, toutes les informations de notre environnement sont traitées au niveau neuronal et celles-ci doivent, dans plupart des cas, être intégrées à travers différentes régions cérébrales pour être fonctionnellement utiles (Mesulam, 1998). Comme mentionné ci-dessus, ces informations sont transmises à différentes zones par les connexions situées dans la matière blanche. L'efficacité et la vitesse de ces transmissions sont donc tributaires de l'intégrité de ces connexions surtout lors de lésions axonales diffuses, comme lors d'un TCCL (Bigler, 2001, 2003; Gale et al., 1995; Gentry et al., 1988; Levin et al., 1987, 1992; MacKenzie et al., 2002; Mittl et al., 1994). Ces atteintes découlant d'une lésion cérébrale traumatique ont un impact direct sur l'efficacité du réseau de transmission de l'information, et ainsi, la vitesse de traitement de celle-ci. Ce ralentissement du traitement de l'information se produit dans les tâches les plus élémentaires et il semble se généraliser aux tâches plus complexes de coordination visuomotrice de la vie quotidienne, et qui nécessite du même coup l'implication d'autres fonctions cognitives (Madigan, DeLuca, Diamond, Tramontano et Averill, 2000; Stokx et Gaillard, 1986; Zahn et Mirsky, 1999).

Quelques études seulement ont été réalisées à notre connaissance sur l'impact d'un TCCL sur la vitesse de coordination visuomotrice. Dans une étude ayant utilisé le *Finger Tapping Test*, tâche où le participant doit taper avec son index sur un levier le plus rapidement possible, un ralentissement plus important a été observé chez un groupe de patients TCCL complexe en comparaison avec un groupe de participants en santé (Shumskaya, Andriessen, Norris et Vos,

2012). Les mêmes différences entre des patients TCCL et des participants contrôles ont été démontrées pour les deux sous-tests papier-crayon mesurant l'indice de vitesse de traitement de l'information de la *Batterie d'Intelligence de Wechsler (WAIS-IV) (Codes et Repérage de symboles)* (Xiong, Zhang, Zhang, Zhang, Chen et Qiu, 2016; Yue et al., 2017). Également, une lenteur dans le traitement de l'information graphomotrice à la suite d'un TCCL a été observée à l'aide de l'outil *Symbol Digit Modalities Test (SDMT)*, une tâche de substitution écrite qui amène le candidat à associer des symboles à des chiffres (Dymowski, Owens, Ponsford et Willmott, 2015; Schmidt et al., 2017). Une lenteur à la suite d'un TCCL a aussi été notée lors du test *Trail Making Test A*, un test demandant une rapidité de coordination visuomotrice à l'écrit où le participant doit relier des chiffres le plus rapidement possible (Dymowski, Owens, Ponsford et Willmott, 2015). En outre, en plus d'une atteinte générale de la vitesse de coordination visuomotrice à la suite d'un TCCL lorsque comparée à des participants en santé, des différences ont aussi été observées entre un groupe de patients atteints d'un TCCL simple et un autre groupe ayant subi un TCCL complexe lors des phases à moyen et long-terme de récupération. De fait, le groupe de patients ayant subi un TCCL complexe a présenté une plus grande diminution de la vitesse de traitement de l'information et de coordination visuomotrice en comparaison avec le groupe de patients TCCL simples (Comerford et al., 2002; Gronwall et Sampson, 1974; MacFlynn et al., 1984; van Zomeren, 1981; Waterloo, Ingebrigtsen et Romner, 1997). Somme toute, notons que ces études antérieures ne permettent pas de statuer sur la vitesse de coordination visuomotrice en phase aiguë de récupération. D'ailleurs certaines de ces études ne donnent aucune indication sur le délai d'évaluation post TCCL. En outre, afin de mieux comprendre la vitesse de coordination

visuomotrice post TCCL, il est essentiel d'explorer les variables sociodémographiques ou liées à l'accident pouvant influencer cette performance.

L'âge

D'abord, l'âge de l'individu est important, car le vieillissement entraîne des changements cérébraux, comme l'atrophie diminuant la matière blanche et grise ainsi que l'accumulation de plaques séniles et de dégénérescences neurofibrillaires (Stern et al., 2004). La coordination visuomotrice a tendance à être davantage laborieuse avec l'augmentation en âge. En effet, plusieurs études démontrent une diminution de la vitesse de coordination visuomotrice chez des personnes âgées sans atteintes neurologiques (McNay et Willingham, 1998; Seidler, 2006; Song, 2015). Par exemple, la vitesse décline au test de coordination visuomotrice *Grooved Pegboard Test* avec l'avancement en âge (e.g., Bornstein, 1985; Concha et al., 1995; Mitrushina et al., 2005; Ruff et Parker, 1993; Selnes et al., 1991). Une vitesse de traitement plus rapide est particulièrement importante dans la mesure où cette capacité est associée au maintien de l'état de santé avec l'âge (Hultsch, Hammer et Small, 1993; Rosnick, Small, Borenstein Graves et Mortimer, 2004). En outre, l'impact d'une lésion cérébrale traumatique a un âge plus avancé peut avoir un plus grand impact sur l'autonomie fonctionnelle, mais également sur le fonctionnement cognitif, notamment sur la vitesse de coordination visuomotrice. De fait, des études antérieures ont démontré que les personnes plus âgées qui avaient subi un TCC, toutes sévérités confondues, avaient davantage de difficultés lors de tâches mesurant la vitesse de traitement ainsi que l'apprentissage ainsi qu'un niveau fonctionnel plus limité ayant comme conséquence un rétablissement plus lent (Klein, Houx et Jolles, 1996; Ponsford, 2013; Adediran, Drumheller, McCunn, Stein, et Albrecht, 2019).

Le sexe

En ce qui concerne le sexe, les études actuelles n'offrent que peu de réponses en termes de différences de vitesse de traitement de l'information et de coordination visuomotrice entre les hommes et les femmes (Roivainen, 2011) et aucune à notre connaissance n'a spécifiquement abordé cette interaction chez un groupe TCCL. Une méta-analyse publiée en 2011 mentionne des différences pour certaines tâches. En effet, les femmes auraient de meilleures performances dans des tâches de vitesse de coordination visuomotrice impliquant les compétences telles que l'écriture, tandis que les hommes seraient meilleurs dans les tâches de mesures de temps de réaction tel que le *Finger Tapping Test* nécessitant de la dextérité manuelle fine (Roivainen, 2011). Au *Grooved Pegboard Test*, les femmes seraient légèrement plus rapides que les hommes (Schmidt, Oliveira, Rocha et Abreu-Villaca, 2000; Roivainen, 2011). Cette différence à l'avantage des femmes est difficilement explicable et la taille des doigts qui diffère entre les hommes et les femmes aurait été suggérée comme hypothèse explicative, quoique cette dernière serait encore contestée à ce jour. En ce sens, une étude rapporte que la différence entre les sexes disparaît lors du contrôle de la taille des doigts (Peters, Servos et Day, 1990) tandis qu'une autre étude n'arrive pas à cette conclusion (Nicholson et Kimura, 1996).

Les symptômes dépressifs et post-commotionnels

Les symptômes dépressifs sont également reconnus pour avoir une interaction avec la vitesse de traitement de l'information. Cette association entre la dépression et la vitesse de traitement de l'information a d'ailleurs été mise en évidence dans une méta-analyse réalisée en 2009 (McDermott et Ebmeier, 2009). Plus spécifiquement, tout comme pour la mémoire épisodique ou les fonctions exécutives, plus les symptômes dépressifs étaient sévères et plus les participants

présentaient une lenteur du traitement de l'information (McDermott et Ebmeier, 2009). De plus, environ 30 % des personnes prenant une médication pour la dépression rapporteraient des problèmes résiduels de vitesse de traitement, mais aussi de l'apathie, de l'inattention et une difficulté à rechercher le bon mot pour s'exprimer (Richardson et Adams, 2018). Mis en relation avec un TCC, les symptômes dépressifs sont fréquemment observés dans la littérature, et ce, pour toutes les sévérités confondues. De fait, la prévalence des symptômes dépressifs varie entre 30% et 50 %, et ce, un an après le TCC (Jorge et al., 2004; Iverson, 2005; Bombardier et al., 2010; Osborn, Mathias et Fairweather-Schmidt, 2014). Chez la clientèle TCCL, la prévalence des symptômes dépressifs, qui sont aussi considérés comme faisant partie des symptômes dits « post-commotionnels » sont aussi communs et disparaissent généralement spontanément dans les jours ou semaines suivant l'accident pour la majorité des patients. Toutefois, plusieurs études ont montré que ces symptômes pouvaient persister pendant plusieurs mois, et ce, dans 15% des cas (Carroll, Cassidy, Peloso et al., 2004; Center for disease control and prevention, 2007). Une étude prospective menée auprès d'une population ayant subi un TCCL à la suite d'un accident de voiture a démontré que, même un an après le traumatisme, 23% des patients se considéraient subjectivement comme étant non rétablis (Cancelliere et al., 2014).

Concernant les liens entre la dépression et la vitesse de traitement de l'information à la suite d'un TCCL, une étude très récente a montré que plus les patients TCCL présentaient des symptômes dépressifs et plus leur vitesse de traitement de l'information mesurée par le *NIH Tool Box Pattern Comparison Processing Speed Test* était réduite (Terry, Brassil, Iverson, Panenka et Silverberg, 2018). Dans cette épreuve, le participant devait presser le plus rapidement possible sur un bouton lorsque deux images présentées sur un écran étaient identiques. Cette épreuve basée sur la

vitesse de traitement de l'information et de mesure de temps de réaction simple requiert toutefois peu de coordination visuomotrice. Aucune étude à notre connaissance n'a pu mettre en évidence les relations entre les symptômes dépressifs et la vitesse de coordination motrice à la suite d'un TCCL. La seule étude qui pourrait soutenir l'hypothèse de cette interaction est celle réalisée par l'équipe de Johansson en 2009 qui a pu démontrer une relation entre la fatigue mentale et les performances aux tâches telles que *Codes*, *Recherche de symboles*, la vitesse de lecture et les *Tracés A et B* (Johansson, Berglund et Rönnbäck, 2009). Bien que leur objectif fût de lier ces concepts avec la dépression, les patients TCC légers et modérés de leur cohorte ne présentaient pas réellement de symptômes dépressifs au *Comprehensive Psychopathological Rating Scale (CPRS)*. Enfin, outre la dépression, d'autres symptômes liés au TCCL sembleraient influencer la vitesse de coordination visuomotrice, ces facteurs sont la consommation excessive d'alcool, le syndrome de stress post-traumatique ou la sévérité des symptômes post commotionnels (Yue et al., 2017; Van Der Horn et al., 2017; Lopez, Leary, Pham, Chou, Dsurney et Chan, 2017).

La réserve cognitive

L'hypothèse de la réserve cognitive a été proposée pour expliquer la dissociation entre le niveau de dommage cérébral et sa présentation clinique attendue (Stern, 2009). Cette hypothèse suppose que les différences individuelles de flexibilité et d'adaptabilité des réseaux neuronaux permettent de mieux gérer et compenser les déficits cognitifs (Steffener et Stern, 2012; Stern et Habeck, 2018). Le niveau de scolarité et le QI, notamment l'intelligence cristallisée telle que mesurée par exemple par un test de vocabulaire, sont fréquemment des variables utilisées comme mesures indirectes de la réserve cognitive. En ce sens, le niveau d'éducation comme

plusieurs autres facteurs dépendants du style de vie (par ex., l'activité physique, la vie professionnelle) sont des mesures de la réserve cognitive de l'individu (Villeneuve et Belleville, 2010). En ce qui concerne le sujet qui nous intéresse, des études antérieures ont d'ailleurs mis en évidence une association entre le niveau d'éducation et la vitesse de coordination visuomotrice chez des populations en santé (Lezak, Howieson, Loring et Fischer, 2004; Mitrushina, Boone, Razani et D'Elia, 2005; Strauss, Sherman et Spreen, 2006). Il a été démontré que les personnes en santé ayant un plus haut niveau d'éducation étaient davantage rapides dans des tâches de coordination visuomotrice que ceux ayant un niveau de scolarité plus bas, sans toutefois que ces différences soient extrêmement grandes (Bornstein, 1985; Selnes et al., 1991; Concha et al., 1995; Ruff et Parker, 2003; Mitrushina et al., 2005).

De surcroît, un niveau d'éducation plus élevé a aussi été démontré comme étant un facteur de protection à la suite d'un TCC (Sumowski, Chiaravalloti, Krch, Paxton et DeLuca, 2013). Des études antérieures ont proposé que la réserve cognitive estimée par le niveau d'éducation pouvait agir comme facteur de protection des fonctions cognitives après un TCC modéré-sévère, notamment pour la mémoire de travail, la mémoire épisodique, mais aussi pour la vitesse de traitement (Bigler & Snyder, 2015; Sumowski, Chiaravalloti, Krch, Paxton et DeLuca, 2013). Plus spécifiquement, une étude réalisée auprès de patients TCC toutes sévérités confondues (léger, modéré et grave) évalués un an ou plus à la suite d'un TCC, a mis en évidence des associations significatives entre le QI estimé par le *Wechsler Advanced Clinical Solutions Test of Premorbid Function* et plusieurs tests neuropsychologiques, dont le *Grooved Pegboard Test* (Leary et al., 2018). Très récemment, une étude a démontré que la réserve cognitive, mesurée par le *Test of Premorbid Functioning* (TOPF) était significativement associée à tous les sous-tests du WAIS-IV,

incluant l'index de vitesse de traitement de l'information (*Codes et Recherche de symboles*) (Donders et al., 2019). Ces études, quoique très intéressantes, ont été réalisées auprès de patients TCC, toutes sévérités confondues et entre 1 et 12 mois post TCC ou encore à plus d'un an post accident. Ceci ne nous permet donc pas de conclure spécifiquement quant à la population de patients TCCL et ne nous permet pas non plus de statuer sur la phase précoce de récupération.

Objectifs et hypothèses de l'étude

La vitesse de coordination visuomotrice s'avère une fonction essentielle pour une récupération fonctionnelle optimale après un TCC, mais aussi à la suite d'un TCC de moindre sévérité, tel que le TCCL. Ceci parce qu'elle est inhérente à la réintégration aux activités vocationnelles ou professionnelles et nécessaire pour l'accomplissement de différentes tâches de la vie quotidienne, comme par exemple écrire, cuisiner ou conduire une voiture. En ce sens et dans un but d'offrir des interventions spécifiques et surtout précoces pour les troubles de la vitesse de coordination visuomotrice post TCCL, il est important de mesurer l'impact du TCCL sur la vitesse de coordination visuomotrice dans la phase aiguë de récupération. De plus, afin de conceptualiser ou modéliser les composantes impliquées dans la vitesse de coordination visuomotrice, il apparaît essentiel de bien comprendre les facteurs pouvant influencer cette fonction.

À ce jour, peu d'études existent sur l'évaluation de la vitesse de coordination visuomotrice post TCCL, notamment en phase précoce de récupération et aucune étude à notre connaissance ne s'est penchée spécifiquement sur le *Grooved Pegboard Test* comme mesure de la vitesse de coordination visuomotrice à la suite d'un TCCL en phase aiguë de récupération, c'est-à-dire au cours des trois premiers mois post TCCL (INESSS, 2018). Étonnamment, très peu d'études se sont

intéressées à la vitesse de coordination visuomotrice très peu de temps après un TCCL en prenant en considération les différentes variables pouvant expliquer les performances comme l'âge, le sexe, la présence de symptômes dépressifs et post-commotionnels ainsi que la réserve cognitive. Cette meilleure compréhension des variables d'influence de la vitesse de coordination visuomotrice sera utile pour les cliniciens qui auront à interpréter et nuancer les résultats de leurs patients TCCL au *Grooved Pegboard Test*.

Objectif et hypothèse 1

L'objectif principal de l'étude est d'explorer la vitesse de coordination visuomotrice mesurée par le *Grooved Pegboard Test* chez des patients ayant subi un TCCL et qui se situent à la phase précoce de récupération, soit au cours des premières semaines post accident. Le premier objectif spécifique est de comparer les performances obtenues à l'aide du *Grooved Pegboard Test* chez trois groupes de participants, soit un groupe de patients atteints d'un TCCL complexe (CT scan positif), un groupe de patients atteints d'un TCCL simple (CT sans particularité) et un groupe de participants en santé et sans historique de TCC.

Au regard du contexte théorique présenté ci-haut, il est attendu que le groupe contrôle présente des temps de complétion, autant avec la main dominante que la main non dominante, plus bas au *Grooved Pegboard Test* que le groupe de patients TCCL simple (plus grande vitesse de coordination visuomotrice). Il est attendu que ce dernier présente des temps de complétion plus faibles (plus rapides) que le groupe TCCL complexe.

Objectif et hypothèse 2

Le second objectif de cette étude sera de bien comprendre quelles sont les variables sociodémographiques ou liées à l'accident qui influencent la vitesse de coordination visuomotrice à la suite d'un TCCL en mesurant les facteurs qui sont associés aux performances obtenues au *Grooved Pegboard Test*. Ainsi, des variables telles que l'âge et le sexe seront mis en relation avec les performances obtenues au *Grooved Pegboard Test*. De plus, afin de bien comprendre les processus sous-jacents à cette tâche, des mesures fidèles et valides de vitesse de traitement de l'information chez la population TCCL, tels que les sous-tests *Codes* et *Repérage de symboles* tirés de la *Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS-IV)* seront également mis en relation avec les performances obtenues au *Grooved Pegboard Test*. En outre, les relations entre les symptômes post-commotionnels et dépressifs et la vitesse de coordination visuomotrice seront explorées dans un même modèle via les mesures autorapportées *Post-Concussion Symptom Scale-Revised (PCS-R)* et le *Beck Depression Inventory II (BDI-II)*. Enfin, des mesures de la réserve cognitive seront analysées via les mesures du sous-test *Vocabulaire* de la *WAIS-IV* ainsi que par le nombre d'années d'éducation des participants. En somme, l'objectif sera de déterminer le meilleur modèle possible de prédiction des performances de vitesse de coordination visuomotrice à la suite d'un TCCL et de bien comprendre les variables qui influencent ces performances ainsi que l'importance de chacune de ces variables d'influence sur la vitesse de coordination visuomotrice.

Pour ce qui est du second objectif, il est attendu que les patients les plus âgés et les hommes aient des scores plus faibles (plus grande lenteur de coordination visuomotrice) au *Grooved Pegboard Test* et que ces performances seront associées positivement aux mesures valides de vitesse de traitement de l'information (*WAIS-IV : Repérage de symboles et Codes*), ce qui nous

permettra de confirmer que ce test mesure bien la vitesse de traitement de l'information chez la clientèle TCCL. Toujours dans le même modèle, il est attendu que les mesures des symptômes post-commotionnels et dépressifs (*PCS-R et BDI*) seront associés positivement à la performance au *Grooved Pegboard Test*. En ce sens, les patients ayant davantage de symptômes post-commotionnels et de symptômes dépressifs auront des scores plus faibles au *Grooved Pegboard Test* (plus grande lenteur de coordination visuomotrice). Enfin, il est attendu que les patients les plus éduqués et ayant des scores au test de *Vocabulaire* plus élevés (plus grande réserve cognitive) obtiennent également des scores plus élevés au *Grooved Pegboard Test* (plus grande rapidité de coordination visuomotrice). Grâce à toutes ces variables, nous espérons être en mesure de bâtir un modèle de prédiction solide de vitesse de coordination visuomotrice chez la clientèle TCCL en phase aiguë ou précoce de récupération.

Méthode

Participants

Pour cette étude de nature rétrospective, un total de 131 participants a été recruté. Cent-huit ont été référés par le programme TCC du Centre universitaire de santé McGill (CUSM) entre le 5 février 2013 et le 9 juin 2016. Les 32 sujets du groupe contrôle ont été recrutés par l'intermédiaire d'affiches posées dans la région de Montréal. Cette recherche a reçu l'approbation éthique du CUSM (2017-3018) et du Comité d'éthique de la recherche en éducation et en psychologie (CEREP) de l'Université de Montréal. Les données démographiques telles que le sexe, l'âge, le niveau de scolarité, la dominance manuelle et l'occupation ont été collectées dans le dossier médical pour les patients et en entrevue pour les participants contrôles. Les données liées à

l'accident ont également été recueillies telles que le mécanisme de l'accident (accident motorisé, chute, agression, sport, autre). De plus, pour les patients ayant subi un TCCL complexe, la présence de lésion cérébrale et le site (gauche, droite, bilatéral) observé à la tomographie cérébrale (CT scan) ont été collectés par un neurochirurgien aveugle aux résultats de l'évaluation de la vitesse de coordination visuomotrice.

L'échantillon de 99 patients était composé de 80 participants ayant reçu un diagnostic de TCCL simple et de 19 participants ayant reçu un diagnostic de TCCL complexe. Les indicateurs diagnostiques du TCCL étaient de la confusion ou une désorientation immédiatement à la suite de l'accident, une perte de conscience de 30 minutes ou moins, une amnésie de l'événement de 24 heures ou moins ainsi qu'une ou des blessures faciales ou extra-crâniennes importantes. Un autre critère était l'altération de l'état de conscience de moins de 30 minutes après le traumatisme (Carroll et al., 2004; Von Holst et Cassidy, 2004). Celui-ci a été mesuré par l'Échelle de Coma Glasgow et nécessitait un score entre 13 et 15 pour être considéré dans la catégorie du TCCL. En plus des critères ci-dessus, l'identification d'une blessure crânienne ou intracrânienne traumatique à l'imagerie radiologique à confirmer la présence d'un TCCL complexe. En revanche, en l'absence de ce marqueur neuro-radiologique, un indicateur opérationnel parmi ceux énumérés ci-dessous était nécessaire afin d'identifier la présence d'un TCCL simple. Les critères d'inclusion des participants du groupe contrôle (n=32) étaient d'être âgé de plus de 16 ans et de ne pas avoir d'historique de TCCL, modéré ou grave. La présentation des caractéristiques de chacun des groupes est rapportée dans le Tableau 1.

Les critères d'exclusion pour les deux groupes étaient les suivants : avoir un antécédent de trouble psychiatrique et/ou neurologique diagnostiqué; la présence de troubles sensoriels et

moteurs, la consommation excessive de drogues ou d'alcool, la prise de médicaments et /ou substances psychoactives (antidépresseurs, benzodiazépines, hypnotiques), un trouble d'apprentissage, une déficience intellectuelle ou un déficit de l'attention diagnostiqué et finalement, un contexte de litige.

Outils de mesure

Le *Grooved Pegboard Test* mesure la motricité fine, la vitesse visuomotrice et la coordination œil-main pour la main dominante et pour la main non dominante. Il s'agit d'un instrument composé de 25 cavités positionnées selon différentes orientations qui nécessite 5 minutes d'administration (Lafayette instrument, 2002). Le participant a été invité à combler ces cavités avec des tiges qui devaient être tournées dans la bonne position afin d'être insérées correctement, et ce, le plus rapidement possible. Le nombre de secondes (score brut) pour compléter l'essai a été mesuré pour la main dominante d'abord et ensuite pour la main non dominante.

L'épreuve des *Codes* de la WAIS-IV (Wechsler, 2011) vise notamment à évaluer la vitesse psychomotrice ainsi que la coordination visuelle-motrice. Dans cette tâche, le participant devait copier des symboles qui étaient appariés à des chiffres, le plus rapidement possible, dans un temps maximum de 120 secondes. Le nombre de symboles correctement recopiés a été comptabilisé.

L'épreuve de *Repérage de symboles* de la WAIS-IV (Wechsler, 2011) a pour but de mesurer la vitesse psychomotrice, la coordination visuomotrice et la vitesse des opérations mentales. Dans ce test, le participant devait repérer sur une ligne comportant plusieurs symboles, si ceux qui étaient désignés en début de ligne apparaissaient sur la même ligne, le participant devait donc

retrouver dans le second groupe de 5 symboles l'un des deux symboles du premier groupe, et ce, le plus rapidement possible. Un temps total de 120 secondes a été alloué et le nombre de bonnes réponses a été comptabilisé.

Le questionnaire autorapporté *Post-Concussion Symptom Scale-Revised* (Lovell 1996; 1999, Lovell et Collins, 1998) est un questionnaire à choix multiples de 22 questions servant à mesurer la sévérité des symptômes post-commotionnels les plus fréquents. Il est composé de questions liées aux symptômes physiques (nausées, étourdissements, etc.), aux symptômes psychologiques (irritabilité, tristesse, etc.) et cognitifs (perte de mémoire, inattention, etc.). Un score de 0 indique l'absence du symptôme, des scores de 1 et 2 sont associés à un déficit léger, des scores de 3 et 4 à des déficits modérés et des scores de 5 et 6 à des déficits sévères.

Le questionnaire autorapporté *Beck Depression Inventory II* (Beck, Steer et Brown, 1996) est un questionnaire à choix multiples de 21 questions, servant à mesurer la sévérité de la dépression clinique. Il est composé de questions relatant des symptômes de la dépression comme le désespoir et l'irritabilité, des symptômes cognitifs comme la culpabilité, des symptômes émotionnels, et des symptômes physiques comme la fatigue, la perte de poids et le manque d'intérêt sexuel. Sur une échelle de Likert, un score de 0 est associé à l'absence de symptômes alors qu'un score de 3 est associé à un problème sévère.

L'épreuve *Vocabulaire* de la WAIS-IV (Wechsler, 2011) a pour but de mesurer la connaissance des mots et la capacité à définir des mots et à former des concepts verbaux. Les scores de chacun des mots varient de 0 à 2 selon le niveau de précision de la réponse, un score de 2 correspond à une réponse plus abstraite.

Procédure

Les patients TCCL ont été référés par l'urgence du Centre Universitaire de Santé McGill- Hôpital Général de Montréal (CUSM-HGM). Au cours des deux semaines suivant l'accident, les patients ont été évalués par un médecin à la clinique ambulatoire TCCL du CUSM-HGM. Les patients qui ont reçu un diagnostic médical de TCCL basé sur les critères de la Task Force de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), suivant leur accident (Carroll et al., 2004) et qui présentaient des symptômes persistants ont ensuite été référés pour une évaluation neuropsychologique. Une évaluation neuropsychologique exhaustive a été complétée par une neuropsychologue entre 4 à 8 semaines post accident. Dans le cadre de cet essai doctoral, les résultats au *Grooved Pegboard* ainsi qu'aux échelles *Codes, Repérage de symboles et Vocabulaire du WAIS-IV* ont été analysés. Les scores aux mesures autorapportées *Post-Concussion Symptom Scale-Revised* et *Beck Depression Inventory II* ont également été analysés.

Les personnes du groupe contrôle ont été recrutées dans la communauté et à l'Université de Montréal par le biais d'annonces affichées à l'Université de Montréal. Les participants ont contacté l'équipe de recherche et un assistant de recherche leur a expliqué les buts et procédures de l'étude, leur éligibilité au projet a été vérifiée et l'assistant a recueilli leur consentement lors de la rencontre d'évaluation. Les évaluations ont été effectuées au pavillon Marie-Victorin ou au campus Laval de l'Université de Montréal. Cette évaluation incluait notamment le test *Grooved Pegboard Test* ainsi que les échelles *Codes, Repérage de symboles et Vocabulaire du WAIS-IV*.

Analyses statistiques

Des analyses statistiques descriptives ont été effectuées afin de connaître les caractéristiques démographiques et cliniques de chacun des groupes. Pour toutes les analyses, la vérification des

différents postulats a été effectuée a priori afin de s'assurer de la validité des analyses. Toutes les variables ont été présentées sous forme de moyennes et écarts-types pour les variables numériques et sous forme de proportion pour les variables catégorielles.

Concernant le premier objectif, les analyses reposent sur un design expérimental inter-sujets. Une ANOVA multivariée a été réalisée pour comparer les trois groupes (TCCL simple, TCCL complexe et contrôle) aux scores obtenus au Grooved Pegboard Test. De ce fait, les variables dépendantes sont les temps de complétion pour la main dominante et la main non dominante et la variable indépendante est le groupe d'appartenance. Si l'ANOVA multivariée s'avérait significative, une analyse post hoc avec la correction Bonferroni était effectuée. Un seuil alpha critique de 0.05 a été appliqué. Un seuil alpha critique de 0.05 a été appliqué.

En ce qui concerne le second objectif, des régressions hiérarchiques ont été effectuées en considérant les variables sociodémographiques, liées à l'accident, les scores aux tests de mesures de la vitesse, de dépression et des SPC comme mesures de prédiction des scores obtenus (temps de complétion en secondes) au *Grooved Pegboard Test* (main dominante et main non dominante). Uniquement les variables associées de façon bivariée ($p < 0.1$) avec les scores au *Grooved Pegboard Test* ont été considérées dans le modèle. En se basant sur la littérature, les variables identifiées comme expliquant davantage les scores bruts du *Grooved Pegboard Test* ont été entrées à l'étape 1, c'est-à-dire l'âge et le sexe. Comme mentionné dans le contexte théorique et par les objectifs de recherche, les mesures de validité convergente, c'est-à-dire celles de la vitesse de traitement de l'information (*Repérage de symboles* et *Codes de la WAIS-IV*), ont été entrées à l'étape 2 (second bloc). Pour le troisième bloc, les mesures des symptômes de dépression et des symptômes post-commotionnels ont été entrées dans le modèle (*Beck*

Depression Inventory II (BDI) et *Post-Concussion Symptom Scale-Revised (PCS-R)*. Finalement, pour le quatrième bloc, les mesures de réserves cognitives ont été ajoutées au modèle (le nombre d'années d'éducation et le *Vocabulaire* de la WAIS-IV). Un seuil alpha critique de 0.05 a été appliqué. Toutes les analyses ont été réalisées à l'aide de SPSS 24.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL).

Résultats

Données sociodémographiques et liées à l'accident

Les caractéristiques des patients ainsi que la comparaison entre les trois groupes sont présentées ci-dessous (voir tableau 1). L'échantillon est composé de 131 participants. Un peu plus que la moitié des participantes sont des femmes (56.4 %). Les participants sont âgés entre 18 et 72 ans et la moyenne est d'environ 31.9 ans (ÉT=12.4). Le nombre moyen d'années d'éducation moyenne est de 14.6 (ÉT=3.01). La majorité des participants sont droitiers (86.3 %). Concernant l'occupation principale, la majorité de l'échantillon est composé d'étudiants (36.4 %), suivi par des professionnels (30.2 %) et des participants effectuant un métier nécessitant des tâches manuelles (17.6%). Les techniciens représentent également 17.0 % de l'échantillon. Deux participants étaient à la retraite et un était sans emploi. Deux données sont manquantes concernant l'occupation. En ce qui concerne les deux groupes ayant subi un TCCL, la majorité a été causée par une chute (32.3 %) suivie par les accidents de véhicules (28.3 %) et le sport (22.2 %). Un total de 5.1% ont subi une agression tandis que 12.1% ont subi le TCCL pour d'autres raisons. Le site des lésions chez les TCCL complexes était en majorité bilatérale (52.6 %). Les moyennes du temps de complétion en secondes du *Grooved Pegboard Test* pour chacun des groupes sont également présentées dans le tableau 2.

Tableau 1. – Caractéristiques sociodémographiques et liées à l'accident

Caractéristiques	Contrôles (n=32)	TCCL simple (n=80)	TCCL complexe (n=19)
Sexe (F), n (%)	19 (59.4)	49 (61.3)	8 (42.1)
Âge, M _{année} (ÉT)	28.56 (9.63)	31.32 (12.28)	39.95 (14.42)
Scolarité en année, M _{année} (ÉT)	14.91 (2.02)	14.70 (3.11)	13.70 (3.90)
Dominance manuelle (droite), n (%)	29 (90.6)	67 (83.8)	17 (89.5)
Occupation, n (%)			
Travaux manuels	9 (28.1)	8 (10.0)	6 (31.6)
Métier technique	8 (25.0)	9 (11.3)	0
Professionnel	4 (12.5)	29 (36.3)	6 (31.6)
Étudiant	11 (34.4)	32 (40.0)	4 (21.1)
Retraite	0	1 (1.30)	1 (5.30)
Sans emploi	0	0	1 (5.30)
Inconnu	0	1 (1.30)	1 (5.30)
Étiologie, n (%)			
Chute	-	22 (27.5)	10 (52.6)
Accident motorisé	-	23 (28.7)	5 (26.3)
Agression	-	4 (5.00)	1 (5.30)
Sports	-	21 (26.3)	1 (5.30)
Autre	-	10 (12.5)	2 (10.0)
Lésion cérébrale, n (%)			
Gauche	-	-	3 (15.8)
Droite	-	-	6 (31.6)
Bilatérale	-	-	10 (52.6)

Tableau 2. – Performances au Grooved Pegboard Test

Caractéristiques	Contrôles (n=32)	TCCL simple (n=80)	TCCL complexe (n=19)
Main dominante, temps moyen en secondes (ÉT; min-max)	61.2 (8.71; 41.0-80.0)	65.5 (10.6; 50.0-101.0)	67.6 (11.1; 51.0-87.0)
Main non dominante, temps moyen en secondes (ÉT; min-max)	65.9 (11.2; 48.0-105.0)	73.2 (11.7; 52.0-123.0)	77.7 (18.4; 55.0-116.0)

Premier objectif

Analyses préliminaires

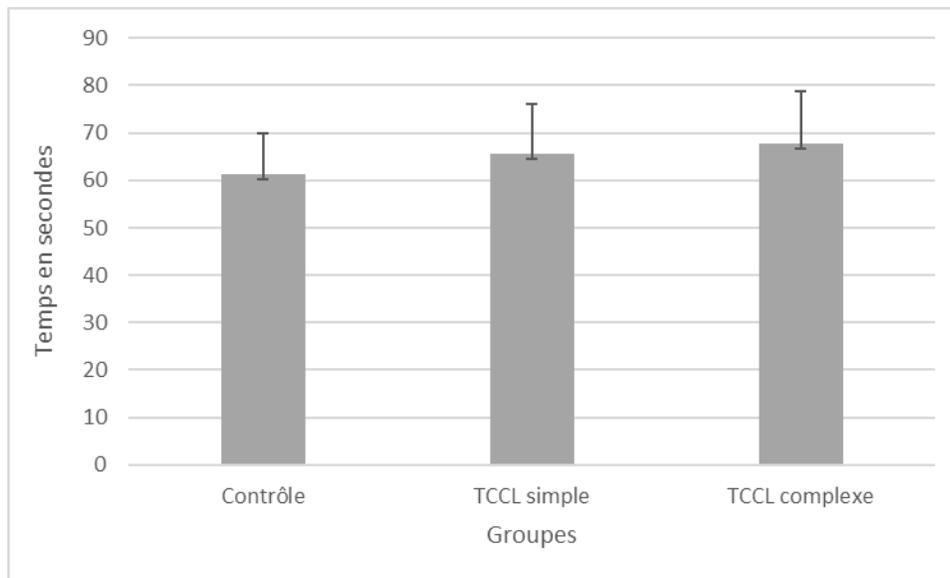
D'abord, la conversion des scores (temps) de tous les participants en score Z avec les normes de Ruff et Parker (1993) a été effectuée. Cette conversion a été effectuée dans le but de s'assurer de l'équivalence entre les groupes afin de permettre de contrôler les variables modératrices identifiées dans la littérature, c'est-à-dire l'âge, le genre et le niveau d'éducation. Les scores Z étant au-dessus ou en dessous de 3.29 ont été jugés comme extrêmes et exclus des analyses (Osborne et Overbay, 2004). Pour la main dominante, deux participants du groupe contrôles, quatre participants diagnostiqués TCCL simple et un participant ayant subi un TCCL complexe ont été exclus. Pour la main non dominante, un participant contrôle, deux participants ayant subi un TCCL simple et un TCCL complexe ont été exclus.

Analyse de variance multivariée sur la main dominante et sur la main non dominante

L'analyse de variance multivariée s'avère non significative démontrant que les groupes performant de manière similaire au *Grooved Pegboard Test* ($F(2) = 1.877, p = .117$). Plus spécifiquement, aucune différence significative n'a été observée entre les trois groupes sur le temps moyen en secondes au niveau de la main dominante ($F(2) = 0.125, p = .883$). La Figure 1 illustre les performances (temps moyen de complétion) obtenues par les trois groupes avec la main dominante. Les participants du groupe contrôle ($M_{secondes} = 61.2, \acute{E}T = 8.71$) performant de manière équivalente en termes de temps moyen en seconde comparativement aux participants ayant un TCCL simple ($M_{secondes} = 65.5; \acute{E}T = 10.6$) et aux participants ayant un TCCL complexe ($M_{secondes} = 67.6; \acute{E}T = 11.0$). Sur le plan clinique, un total de quatre participants du groupe contrôle, quatre patients ayant subi un TCCL simple et aucun

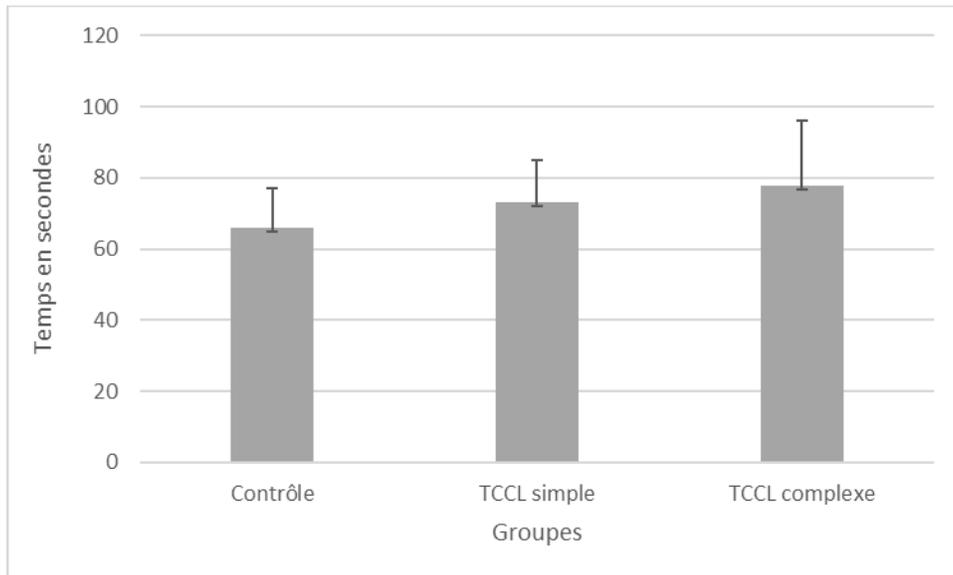
patient TCCL complexe présentent une performance limite (-1.32 à -1.95) alors qu'un total d'un patient du groupe contrôle, six patients TCCL simple et 1 patient TCCL complexe présentent des performances dites déficitaires (-1.96 et plus).

Figure 1. – Temps de complétion pour la main dominante



Quant à la performance avec la main non dominante, la différence des temps de complétion entre les groupes s'avère aussi non significative ($F(2) = 3.036, p = .052$). En effet, les participants du groupe contrôle ($Msecondes = 65.9; \acute{E}T = 11.2$) performant de manière similaire aux participants ayant un TCCL simple ($Msecondes = 73.2; \acute{E}T = 11.7$) et aux participants ayant un TCCL complexe ($Msecondes = 77.7; \acute{E}T = 18,4$).

Figure 2. – Temps de complétion pour la main non dominante



Deuxième objectif

Avant de procéder à une régression multiple hiérarchique, les prémisses pertinentes de cette statistique ont été testées. Tout d'abord, un échantillon de 99 patients TCCL a été jugé adéquat compte tenu des variables à inclure dans l'analyse (Tabachnick et Fidell, 2012). De plus, comme les statistiques sur la colinéarité (c.-à-d. la tolérance et l'IVF) se situaient toutes dans les limites acceptées, la prémisses de multicolinéarité a été jugée respectée. Les valeurs extrêmes aberrantes univariées identifiées lors de l'examen initial des données ont été exclues. Enfin, les diagrammes résiduels et diagrammes de dispersion ont indiqué que les hypothèses de normalité, de linéarité et d'homoscédasticité étaient toutes satisfaites (Pallant, 2005).

Les moyennes des scores bruts et écarts-types obtenus aux tests *Code*, *Repérage de symboles* et *Vocabulaire* de la WAIS-IV sont présentés dans le tableau 3. On retrouve dans le même tableau, les résultats obtenus aux questionnaires Post-Concussion Symptom Scale-Revised Total Symptoms et *Beck Depression Inventory* pour les deux groupes de patients TCCL.

Tableau 3. – Résultats obtenus aux tests et questionnaires pour le groupe de patients TCCL simple et complexe (n = 99)

Outils	TCCL simple (n=80)	TCCL complexe (n=19)
Repérage de symboles, WAIS-IV (ÉT)	36.2 (7.59)	32.4 (10.7)
Code, WAIS-IV (ÉT)	73.4 (16.6)	67.2 (13.2)
Beck Depression Inventory (ÉT)	17.8 (8.45)	14.8 (8.72)
PCS-R Total (ÉT)	47.6 (26.6)	34.6 (22.4)
Vocabulaire, WAIS-IV (ÉT)	53.2 (10.9)	54.4 (13.1)

Légende : PCS-R Total : Post-Concussion Symptom Scale-Revised Total Symptoms,

Prédiction du temps de complétion de la main dominante

Afin d'étudier les facteurs influençant le temps de complétion avec la main dominante au *Grooved Pegboard Test* après un TCCL, une régression linéaire hiérarchique a été effectuée afin d'évaluer la prédiction de la performance de temps de complétion en secondes au *Grooved Pegboard* à partir des données démographiques (âge et sexe), de la vitesse de traitement de l'information (*recherche de symboles et codes*), des symptômes dépressifs et post-commotionnels (BDI et PCS-R), ainsi que de réserve cognitive (éducation et vocabulaire). Le tableau 4 illustre les résultats de l'analyse de régression hiérarchique du temps de complétion de la main dominante au *Grooved Pegboard Test*.

Pour l'analyse du premier bloc, les variables de prédiction analysées étaient l'âge et le sexe. Les résultats de la régression linéaire hiérarchique du premier bloc ont révélé un modèle statistiquement significatif ($p < .001$). De plus, la valeur de R^2 de 0.167 associée à ce modèle suggère que l'âge et le sexe expliquent 16.7 % de la variation, ce qui signifie que 83.3% de la variation du temps de complétion de la main dominante au *Grooved Pegboard Test* ne peut être expliquée par ces données démographiques uniquement. Ces résultats suggèrent que les patients plus jeunes ($B = .231, p = .003$) et les femmes ($B = 7.057, p = .001$) ont des performances qui sont

plus rapides (temps de complétion plus faibles) avec la main dominante que les patients plus âgés et les hommes.

Pour l'analyse du second bloc, les variables de prédiction ajoutées au modèle étaient les sous-tests de vitesse de traitement de l'information de la WAIS-IV, c'est-à-dire *Repérage de symboles* et *Code*. Les résultats de la deuxième analyse de régression linéaire hiérarchique pour ce bloc ont révélé que le modèle demeurait statistiquement significatif ($p < .001$). En ce sens, la valeur de R^2 de 0.375 associée à ce modèle de régression suggère que l'ajout d'épreuves de mesure de la vitesse de traitement de l'information explique 37.5 % de la variation du temps de complétion, ce qui représente une augmentation de la valeur de R^2 de 20.8% par rapport au modèle précédent. Cela signifie que 62.5 % de la variation de celui-ci ne peut être expliquée par les données démographiques et la vitesse de traitement de l'information à eux seuls. De manière plus précise, dans ce modèle, les patients plus jeunes ($B = .161$, $p = .020$), les femmes ($B = 5.670$, $p = .002$) et des performances plus élevées (meilleures performances) aux sous-tests *recherche de symboles* ($B = -.361$, $p = .008$) et *code* ($B = -.205$, $p = .002$) étaient associés à des temps de complétion plus bas (plus rapides).

Des résultats améliorant davantage le modèle ont été observés au troisième bloc lors de l'ajout des variables des scores de dépression (BDI) et des symptômes post-commotionnels (PCS-R). Les analyses ont révélé que le modèle était statistiquement significatif ($p = .029$). Également, la valeur de R^2 de 0.421 associée à ce modèle de régression suggère que l'ajout de ces variables aux variables précédentes explique 42.1 % de la variation du temps de complétion avec la main dominante, ce qui représente une augmentation de la valeur de R^2 de 4.6% par rapport au modèle. Cela signifie que 62.5 % de la variation de celui-ci ne peut être expliquée par ces variables

à elles seules. De manière plus précise, dans ce modèle, les patients plus jeunes ($B = .147, p = .031$), les femmes ($B = 5.565, p = .002$) et des performances plus élevées (meilleures performances) aux sous-tests *recherche de symboles* ($B = -.372, p = .005$) et *code* ($B = -.198, p = .003$) étaient associés à des temps de complétion plus bas (plus rapides). De plus, le fait d'avoir un score plus bas au PCS-R (moins de symptômes post-commotionnels) était associé à un temps de complétion plus bas (plus rapide) ($B = .117, p = .010$). Cependant, un score plus bas à l'échelle de dépression BDI (moins de symptômes dépressifs) n'est pas significativement lié à une performance plus rapide (score plus bas) au *Grooved Pegboard Test* avec la main dominante ($P > .05$).

Enfin, pour le quatrième bloc, le nombre d'années d'éducation ainsi que le score au sous-test *Vocabulaire* de la WAIS-IV ont été ajoutés au modèle. Les résultats de la quatrième analyse de régression linéaire hiérarchique par blocs ont révélé que ce modèle n'était pas statistiquement significatif ($p > .05$). La valeur du changement de R^2 de .002 associées à ce modèle de régression suggère que l'ajout de ce 2% au modèle par les variables de réserve cognitive aux trois précédents blocs ne contribue pas significativement à la variation du temps de complétion. En somme, le modèle 3 nous apparaît comme étant le meilleur modèle explicatif de la variation du temps de complétion avec la main dominante.

Tableau 4. – Analyse de régression hiérarchique du temps de complétion de la main dominante au Grooved Pegboard Test

Modèle	β	SE	T	p	r	R ²	Var. de F	Sig. F	Tol.	VIF
1 (Constante)	48.400		11.666	.000	0.409	0.167	9.615	.001**		
Age	.231	0.283	3.014	.003*					0.988	1.012
Sexe	7.057	0.328	3.497	.001**					0.988	1.012
2 (Constante)	80.265		11.878	.000	0.612	0.375	15.659	.001**		
Age	0.161	0.197	2.358	.020*					0.949	1.054
Sexe	5.670	0.263	3.154	.002*					0.954	1.049
RS	-0.361	-0.248	-2.703	.008*					0.788	1.269
Code*	-0.205	-0.298	-3.161	.002*					0.747	1.338
3 (Constante)	79.508		10.744	.000	0.649	0.421	3.678	.029*		
Age	0.147	0.179	2.191	.031*					0.938	1.066
Sexe	5.565	0.258	3.175	.002*					0.949	1.054
RS	-0.372	-0.256	-2.844	.005*					0.776	1.288
Code	-0.198	-0.288	-3.108	.003*					0.733	1.364
BDI	-0.233	-0.183	-1.919	.058					0.688	1.453
PCS-R	0.117	0.250	2.638	.010*					0.703	1.423
4 (Constante)	77.585		8.960	.000	0.651	0.423	0.142	.868		
Age	0.154	0.188	2.127	.036*					0.819	1.221
Sexe	5.550	0.258	3.130	.002*					0.945	1.058
RS	-0.369	-0.254	-2.649	.010*					0.696	1.437
Code	-0.196	-0.284	-2.996	.004*					0.714	1.402
BDI	-0.233	-0.183	-1.897	.061					0.687	1.455
PCS-R	0.119	0.254	2.623	.010*					0.682	1.465
Éducation	-0.067	-0.020	-0.208	.836					0.669	1.495
Vocabulaire	0.043	0.045	0.526	.600					0.893	1.119

Note. Variable dépendante : Main dominante essai 1

Légende : Sig : Signification; Var. de F : Variation de F, Sig. F : Signification de F; VIF : Multicolinéarité, RS : Recherche de symboles; BDI : Beck Depression Inventory, PCS-R : Post-Concussion Symptom Scale-Revised Total Symptoms.

Note : Les degrés de liberté pour le bloc 1 $F(2,96)$, pour le bloc 2 $F(4,94)$, pour le bloc 3 $F(6,92)$ et pour le bloc 4 $F(8, 90)$.

*p < .05; **p < .001

Prédiction du temps de complétion de la main non dominante

Afin d'étudier les facteurs influençant le temps de complétion avec la main non dominante au *Grooved Pegboard Test* après un TCCL, une régression linéaire hiérarchique a été effectuée afin d'évaluer la prédiction de la performance en secondes à partir des données démographiques (sexe et âge), de la vitesse de traitement de l'information (*Repérage de symboles et codes*), des

symptômes post-commotionnels (PCS-R) et dépressifs (BDI), ainsi que de réserve cognitive (éducation et *Vocabulaire*). Pour l'analyse du premier bloc, les variables de prédiction âge et sexe ont été entrées dans le modèle. Les résultats de la première analyse de régression linéaire hiérarchique par blocs ont révélé que ce modèle était statistiquement significatif ($p < .001$). De plus, la valeur de R^2 de 0.106 associée à ce modèle suggère que les données démographiques expliquent 10.6 % de la variation, ce qui signifie 89.4 % de la variation du temps de complétion ne peut être expliquée par les données démographiques. Plus spécifiquement, il s'avère que les patients plus jeunes ($B = .247, p = .012$) et les femmes ($B = 6.210, p = .016$) ont des temps de complétion plus bas (plus rapides) avec la main non dominante que les patients plus âgés et les hommes.

Pour le second bloc, les variables ajoutées au modèle de prédiction étaient les sous-tests de vitesse de traitement de l'information de la WAIS-IV, c'est-à-dire *Repérage de symboles* et *Code*. Les résultats de la deuxième analyse de régression linéaire hiérarchique par blocs ont révélé que ce modèle était statistiquement significatif ($p = .001$). Également, la valeur de R^2 de 0.303 associée à ce modèle de régression suggère que 30.3% de la variation du temps de complétion avec la main dominante est expliquée par ces quatre variables et que le fait d'ajouter les variables de vitesse de traitement améliore le modèle de 19.7%. Cela signifie que 69.7 % de la variation de celui-ci ne peut toujours pas être expliquée par les données démographiques et la vitesse de traitement de l'information seuls. D'autres variables ont été insérées dans le modèle afin de tenter d'améliorer la valeur de prédiction. Pour l'analyse du troisième bloc, les variables de prédiction ajoutées étaient les outils mesurant les symptômes post-TCCCL (PCS-R) ainsi que la mesure des symptômes dépressifs (BDI). Les résultats de la troisième analyse de régression

linéaire hiérarchique par blocs ont révélé que ce modèle n'était pas statistiquement significatif ($p > .05$). Le fait d'avoir ajouté ces variables a augmenté la prédiction totale de 2.4% pour atteindre une valeur de prédiction de R^2 de 0.328 associée à ce modèle de régression, ce qui ne semble pas statistiquement suffisant. Enfin, pour le quatrième bloc, le nombre d'années d'éducation ainsi que le score au sous-test *Vocabulaire* de la WAIS-IV ont été ajoutés au modèle. Les résultats de la quatrième analyse de régression linéaire hiérarchique par blocs ont révélé que ce modèle n'était pas statistiquement significatif ($p > .05$). La valeur du changement de R^2 de 0.014 associée à ce modèle de régression suggère que l'ajout de la réserve cognitive aux trois précédents blocs améliore le modèle de 1.40 % de la variation du temps de complétion pour atteindre un total de variation R^2 de 0.342. De fait, le nombre d'années d'éducation et le test de *Vocabulaire* de la WAIS-IV ne semblent pas influencer le temps de complétion du *Grooved Pegboard Test* avec la main non dominante. Ainsi, le modèle qui nous paraît le meilleur pour prédire la variation de la performance à la main non dominante est le modèle 2.

Tableau 5. – Analyse de régression hiérarchique du temps de complétion de la main non dominante au Grooved Pegboard Test

Modèle	β	SE	T	p	r	R^2	Var. de F	Sig. F	Tol.	VIF
1 (Constante)	57.066		10.963	.000	0.325	0.106	5.687	.005*		
Age	0.247	0.250	2.571	.012*					0.988	1.012
Sexe	6.210	0.238	2.453	.016*					0.988	1.012
2 (Constante)	94.184		10.900	.000	0.0551	0.303	13.33	.000**		
Age	0.170	0.172	1.944	.055					0.949	1.054
Sexe	4.767	0.183	2.074	.041*					0.954	1.049
Code	-0.197	-0.237	-2.375	.020*					0.747	1.338
RS	-0.517	-0.293	-3.026	.003*					0.788	1.269
3 (Constante)	86.451		8.949	.000	0.573	0.328	1.665	.195		
Age	0.175	0.177	2.004	.048*					0.938	1.066
Sexe	4.992	0.191	2.182	.032*					0.949	1.054
Code	-0.177	-0.212	-2.123	.036*					0.733	1.364

	RS	-0.487	-0.277	-2.851	.005*				0.776	1.288
	PCS-R	0.061	0.108	1.059	.292				0.703	1.423
	BDI	0.113	0.073	0.712	.478				0.688	1.453
4	(Constante)	87.544		7.812	.000	0.584	0.342	0.939	.395	
	Age	0.220	0.223	2.358	.021*				0.819	1.221
	Sexe	4.798	0.184	2.091	.039*				0.945	1.058
	Code	-0.158	-0.189	-1.867	.065				0.714	1.402
	RS	-0.412	-0.234	-2.282	.025*				0.696	1.437
	PCS-R	0.054	0.095	0.921	.360				0.682	1.465
	BDI	0.106	0.069	0.667	.506				0.687	1.455
	Éducation	-0.566	-0.143	-1.368	.175				0.669	1.495
	Vocabulaire	0.043	0.037	0.413	.681				0.893	1.119

Note. Variable dépendante : Main dominante essai 1

Légende : Sig : Signification; Var. de F : Variation de F, Sig. F : Signification de F; VIF : Multicolinéarité, RS : Recherche de symboles; BDI : Beck Depression Inventory, PCS-R : Post-Concussion Symptom Scale-Revised Total Symptoms.

Note : Les degrés de liberté pour le bloc 1 $F(2,96)$, pour le bloc 2 $F(4,94)$, pour le bloc 3 $F(6,92)$ et pour le bloc 4 $F(8,90)$.

* $p < .05$; ** $p < .001$

Discussion

Différences de vitesse de coordination visuomotrice entre les groupes

Le premier objectif était d'explorer la vitesse de coordination visuomotrice mesurée par le *Grooved Pegboard Test* chez des patients ayant subi un TCCL en phase précoce de récupération. En effet, le peu de littérature disponible démontrait un ralentissement du traitement de l'information comprenant la vitesse de coordination visuomotrice suivant un TCCL (Dymowski, Owens, Ponsford et Willmott, 2015; Schmidt et al., 2017; Shumskaya, Andriessen, Norris et Vos, 2012; Xiong, Zhang, Zhang, Zhang, Chen et Qiu, 2016; Yue et al., 2017). La première hypothèse voulant que le groupe contrôle présente des temps de complétion autant avec la main dominante que la main non dominante, plus bas au *Grooved Pegboard Test* que le groupe de patients TCCL simple et que ce dernier présente des performances plus faibles que le groupe TCCL complexe (plus grande vitesse de coordination visuomotrice) est infirmée.

En effet, aucune différence dans la performance avec la main dominante et avec la main non dominante n'a été constatée entre les participants contrôles et les participants TCCL simples et complexes. Contrairement à quelques études antérieures (Dymowski, Owens, Ponsford et Willmott, 2015; Schmidt et al., 2017; Shumskaya, Andriessen, Norris et Vos, 2012; Xiong, Zhang, Zhang, Zhang, Chen et Qiu, 2016; Yue et al., 2017), la présente étude ne permet pas de mettre en évidence un ralentissement du traitement de l'information telle que la vitesse de coordination visuomotrice suivant un TCCL et questionne donc la sensibilité et l'utilité du *Grooved Pegboard Test* chez une clientèle TCCL. Comme plusieurs outils similaires existent et que les cliniciens ont accès à différents tests psychomoteurs en clinique sans toutefois avoir une bonne compréhension des propriétés, des forces et des faiblesses psychométriques (Causby, Reed, McDonnell et Hillier, 2014), cette étude met en lumière des résultats intéressants, spécifiquement pour le *Grooved Pegboard Test* et chez la clientèle TCCL en phase aiguë de récupération.

Des résultats semblables à ceux obtenus dans la présente étude sont également constatés avec le *Perdue Pegboard Test* par d'autres chercheurs. En effet, une étude récente démontre que les participants TCCL ne diffèrent pas des participants en santé au niveau de la coordination main-bras, et ce, plus d'un an après le trauma (Kunker, Peters et Mohapatra, 2020). L'absence de différence entre nos groupes de patients et le groupe contrôle en santé, contrairement aux études qui démontrent une différence de groupes peut être expliquée par différents facteurs. Dans un premier temps, nos scores bruts ont été transformés en scores Z afin de contrôler les variables tels que l'âge et le sexe. Cette étape est essentielle puisque notre second objectif démontre clairement que ces variables influencent directement les performances des patients. Le manque de contrôle de ces variables dans les études antérieures pourrait expliquer en partie

les résultats contradictoires. De plus, la composition du groupe TCCL pourrait aussi être un facteur explicatif des divergences. De fait, certaines études qui rapportent des différences entre le groupe TCCL et le groupe contrôle en santé ont une composition de groupe TCCL différent de notre étude. À titre d'exemple, une étude ayant employé le test *Finger Tapping Test* a été démontré comme étant sensible aux effets du TCCL sur le temps de réaction de dextérité manuelle fine (Shumskaya, Andriessen, Norris et Vos, 2012). Cependant, l'entièreté de leur groupe était constituée de patients TCCL présentant des lésions cérébrales traumatiques dans les régions frontales et occipitales en plus de ne pas inclure un groupe de TCCL simple, contrairement à la présente étude. Il se peut que les résultats obtenus par Shumskaya et ses collègues en 2012 s'expliquent par le fait que les participants présentaient des lésions cérébrales spécifiques à l'imagerie cérébrale dans des régions affectant la performance au *Finger Tapping Test*. Des études supplémentaires sont donc nécessaires afin de mieux comprendre les variables pouvant influencer les performances aux tests mesurant la vitesse de coordination visuomotrice à la suite d'un TCCL. En ce sens notre étude a tenté d'explorer ces variables en tentant de comprendre l'influence de l'âge, de la scolarité, la vitesse de traitement de l'information et l'intensité des symptômes post-commotionnels.

Variables de prédiction de la vitesse de coordination motrice à la suite d'un TCCL

Le meilleur modèle de prédiction obtenu dans la présente étude a permis de prédire 42% de la variabilité au *Grooved Pegboard Test* avec la main dominante et 30% de la variabilité avec la main non dominante. Les variables telles que l'âge, le sexe, les performances aux épreuves de vitesse de traitement de l'information telles que *Codes* et *Recherche de symboles* de la WAIS-IV ainsi que

les symptômes post-commotionnels mesurés par le *Post-Concussion Symptom Scale-Revised* (PCS-R) pour la main dominante sont les variables incluses dans le modèle final.

Âge et sexe

Le second objectif de cette étude était de comprendre quelles sont les variables sociodémographiques ou liées à l'accident qui prédisaient la vitesse de coordination visuomotrice à la suite d'un TCCL en mesurant les facteurs qui sont associés aux performances obtenues au *Grooved Pegboard Test*. Comme prévu, l'âge et le sexe se sont avérés des prédictors très significatifs de la performance au *Grooved Pegboard Test* pour la main dominante et non dominante. Ainsi, les patients TCCL plus jeunes et les femmes se sont montrés plus rapides à la tâche du *Grooved Pegboard Test*, ce qui abonde dans le même sens que l'étude sur le déclin de la vitesse avec l'avancement en âge chez des personnes en santé au test de coordination visuomotrice *Grooved Pegboard Test* (e.g., Bornstein, 1985; Concha et al., 1995; Mitrushina et al., 2005; Ruff et Parker, 1993; Selnes et al., 1991) et sur celle montrant que les femmes seraient légèrement plus rapides que les hommes lors de cette même épreuve (Schmidt, Oliveira, Rocha et Abreu-Villaca, 2000; Roivainen, 2011). D'ailleurs, une étude s'intéressant aux variables prédisant les scores au *Grooved Pegboard Test* chez une population en santé a rapporté que 40% de la variance du score peut être attribuée à l'âge et seulement 4% au sexe (Heaton et al., 2004). Concernant l'âge, il est connu que le cerveau d'une personne plus âgée a subi de nombreuses transformations chimiques, physiologiques et structurelles au fil des années (Cipolotti et al., 2015), ce qui le rendrait plus vulnérable à un choc à la tête et intensifieraient les séquelles du TCC en âge plus avancé (Thompson, McCormick et Kagan, 2006). Enfin, pour l'effet du sexe, cette donnée reste encore difficilement interprétable, mais l'hypothèse de la taille des doigts plus

petits chez les femmes pourrait peut-être les favoriser dans cette tâche de dextérité manuelle fine (Schmidt, Oliveira, Rocha et Abreu-Villaca, 2000; Roivainen, 2011).

Vitesse de traitement de l'information

Également, les épreuves mesurant la vitesse de traitement de l'information (*Code et Repérage de symboles*, WAIS-IV) se sont montrées de bons prédicteurs de la performance au *Grooved Pegboard Test* dans tous les modèles proposés. En effet, plus le temps de complétion à cette épreuve est grand (plus lent) et moins la performance sera bonne dans ces deux tâches du WAIS-IV (plus lent). Ces résultats sont cohérents avec la littérature, tant au niveau des gens en santé que des personnes ayant subi un TCC (Xiong, Zhang, Zhang, Zhang, Chen et Qiu, 2016; Yue et al., 2017). La vitesse de traitement de l'information se voulant un bon prédicteur de la vitesse de coordination visuomotrice.

Symptômes post-commotionnels et dépressifs

En ce qui concerne les symptômes post-commotionnels, les résultats diffèrent entre les deux mains. L'impact des symptômes post-commotionnels serait significatif uniquement pour la main dominante. Ainsi, les patients présentant davantage de symptômes post-commotionnels auraient une plus grande lenteur de coordination visuomotrice avec la main dominante. Plusieurs études ont mis en relief l'impact des symptômes post-commotionnels non seulement sur la vitesse, mais aussi sur l'ensemble des capacités cognitives (Carroll, Cassidy, Peloso et al., 2004; Center for disease control and prevention, 2007; Rabinowitz et Levin, 2014; Arciniegas et Wortzel, 2014). De fait, plus les patients ont des symptômes comme des céphalées, une vision floue, des nausées, etc. et plus ils auront de moins bonnes performances au *Grooved Pegboard Test*. Notre étude nous permet difficilement de comprendre pourquoi cet effet n'est pas significatif pour la main

non dominante et des études ultérieures seront nécessaires pour explorer davantage cette différence entre les deux mains. La seule explication possible est que, puisque les patients débutent la tâche avec la main dominante, ces derniers se sont peut-être adaptés à la tâche lors de l'utilisation de la main non dominante, ayant pour effet de réduire l'impact des symptômes post-traumatiques, par un processus d'habituation à la tâche ou par des mécanismes de compensation. Par exemple, un patient qui présente une vision double ou floue à la suite d'un TCCL aurait peut-être tenté de fermer un œil lors du second essai effectué systématiquement avec la main non dominante pour combler cette vision double. Cette hypothèse reste bien sûr à être davantage explorée.

Dans la présente étude, les symptômes dépressifs ne se sont pas montrés comme de bons prédicteurs ou associés à la tâche de coordination visuomotrice *Grooved Pegboard Test*, tant avec la main dominante que non dominante. Ce résultat ne va pas dans le même sens que la littérature qui a montré de nombreuses associations entre les symptômes dépressifs et la vitesse de traitement de l'information (McDermott et Ebmeier, 2009; Richardson et Adams, 2018) ou encore le temps de réaction (Terry et al., 2019). Par ailleurs, tout comme l'étude de Johansson et ses collègues (2009) il est possible notre échantillon ne comportait pas assez de participants ayant des symptômes dépressifs cliniquement significatifs, rendant du même coup cette variable peu discriminante. De fait, notre échantillon a montré que 66.3% de notre groupe TCCL ne présentait pas de symptômes dépressifs ou des symptômes très mineurs alors que ce pourcentage s'élevait à 78.9% pour le groupe TCCL complexe.

Réserve cognitive

Finalement, les deux modèles incluant les variables de la réserve cognitive se sont montrés non significatifs, c'est-à-dire que le fait d'avoir davantage d'années d'éducation ou encore avoir un QI estimé par le test de Vocabulaire de la WAIS-IV plus élevé n'a pas permis d'augmenter la vitesse de coordination visuomotrice à la suite d'un TCCL, tant pour la main dominante que pour la main non dominante. Malgré le fait que nos résultats sont contraires à notre hypothèse, une étude récente a aussi démontré que la réserve cognitive ne serait pas un bon prédicteur de la vitesse de traitement de l'information et de la performance motrice avec l'avancement en âge (Lavrencic, Churches et Keage, 2018). Notons aussi que dans l'étude d'Heaton et ses collègues (2004) la réserve cognitive, quoique significative, ne prédisait seulement qu'entre 3 et 6 % de la variance au *Grooved Pegboard Test* (Heaton et al., 2004). Enfin, il est peut-être possible de penser que les mécanismes sous-jacents à la réserve cognitive, soit les mécanismes passifs (quantitatifs) ou actifs (qualitatifs) (Stern, 2013) ne s'appliquent pas pour une fonction telle que la vitesse de coordination visuomotrice. En ce sens, davantage de neurones, de cellules gliales ou de synapses (passifs) ne seraient peut-être pas associées aux régions qui supportent la vitesse de coordination visuomotrice. De plus, la vitesse de coordination visuomotrice ne bénéficierait pas des réserves cognitives restantes qui permettraient aux individus d'être flexibles et de contrer les déficits par l'utilisation de stratégies cognitives préexistantes ou de stratégies compensatoires (actifs) (Stern, 2002).

Limites de l'étude

Cette étude comporte plusieurs limites. D'abord, il faut mentionner que la technique de neuroimagerie utilisée dans la présente étude comporte des faiblesses. En effet, la

tomodensitométrie cérébrale (CT Scan) a un certain manque de sensibilité. Une étude s'intéressant à la différence entre les TCCL simple et complexe au niveau de la neuroimagerie a révélé que certains participants classés comme TCCL simple avaient en réalité des microlésions indétectables avec cette mesure (Yuh, Cooper, Ferguson et Manley, 2012). Il est donc plausible que des erreurs de classification aient contribué à réduire les différences entre les groupes de patients TCCL. Par ailleurs, puisque la mesure utilisée dans la présente étude ne permet pas de mieux catégoriser les participants et d'identifier plus précisément le ou les sites de lésion, il est difficile de savoir si les régions soutenant une fonction telle que la vitesse de coordination visuomotrice ont été affectées chez nos participants. Des études d'imagerie chez des individus souffrant de TCC modéré à sévère ont identifié une perturbation de la communication interhémisphérique dans les régions préfrontales, sensorielles et pariétales conduisant à des manifestations comportementales différentielles du fonctionnement moteur bimanuel chez les jeunes adultes-athlètes (Jantzen, Anderson, Steinberg et Kelso, 2005). D'autres études à l'aide de techniques plus précises de neuroimagerie sont nécessaires afin de mieux cerner les différences possibles entre les groupes et afin de mieux comprendre les liens entre les structures cérébrales sous-tendant la vitesse de coordination visuomotrice.

Par ailleurs, les connaissances actuelles rapportent que certaines variables qui n'ont pas été mesurées dans la présente étude pourraient moduler les performances visuomotrices complexes et cognitives chez les TCCL. Par exemple, le niveau de confusion à l'arrivée aux soins semble influencer sur la performance visuomotrice complexe (Keelan et al., 2019). Le rythme circadien est également un facteur qui influence la performance sensorielle et motrice et le temps de réaction (Matchock et Mordkoff, 2007), le sommeil étant fréquemment perturbé à la suite d'un TCC

(Ouellet et al., 2015). Aussi, le contrôle d'autres variables de nature psychologique aurait pu être effectué. Par exemple, le niveau d'anxiété est habituellement corrélé négativement avec les performances cognitives et motrices (Bolmont, Gangloff, Vouriot et Perrin, 2002). L'ajout d'un groupe contrôle, sans TCC, mais qui vivent la même situation d'adaptation post accident aurait sans doute aider à mieux isoler les impacts spécifiques du TCCL et non les facteurs environnementaux et impacts psychologiques associés au fait accidentel.

Également, les résultats aux questionnaires de symptômes post-commotionnels et de dépression étaient autorapportés par les participants. Cette technique de collecte fait en sorte que certaines personnes ont tendance à estimer leur passé comme étant sans faille ou sans symptôme et donc à surestimer la gravité de leur état actuel. Cette théorie du « old good days », suggère que de vivre des événements négatifs, comme un accident, amènerait les patients à percevoir leur passé comme étant davantage favorable que leur situation suivant l'accident (Gunstad et Suhr, 2001; Iverson et al., 2010).

Recherches futures

Des recherches supplémentaires pourraient contribuer à fournir de meilleures explications concernant les présents résultats et ainsi raffiner et rendre plus rigoureux le modèle de prédiction de la coordination visuomotrice. D'abord, une meilleure catégorisation des TCCL pour mieux comprendre l'impact de lésions cérébrales traumatiques. Ensuite, l'utilisation de plusieurs variables prédictives autorapportées mesurant non seulement la dépression et les symptômes post-commotionnels, mais aussi l'ensemble de la sphère psychoaffective, comme la dysthymie ou l'anxiété serait pertinente pour augmenter la puissance du modèle. En ce sens, plusieurs études ont déjà mis en association un ralentissement de la vitesse de traitement de l'information

et divers symptômes psychoaffectifs (Fagerlund, Pagsberg et Hemmingsen, 2006; Rock, Roiser, Riedel et Blackwell, 2014). Aussi, le niveau de statut athlétique pourrait être mesuré. Les personnes ayant une plus grande santé athlétique performeraient davantage rapidement aux tests de vitesse de coordination visuomotrice (Spirduso, 1980; Rosano et al., 2010). Les futures études devront donc se pencher sur l'implication de ces variables dans la performance de coordination visuomotrice complexe afin d'établir si la présence d'un TCCL jumelées à celles-ci permet au Grooved Pegboard Test d'être un outil utile chez cette même clientèle. Par ailleurs, l'utilisation d'une mesure de neuroimagerie plus détaillée, comme l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, pourrait être utile pour mieux préciser nos groupes de patients TCCL simple et complexe, mais aussi permettre de voir les relations entre les sites cérébraux endommagés ou non et la vitesse de coordination visuomotrice. De surcroît, une répétition de la mesure en phase chronique chez les patients pourrait être utile. Il serait ainsi pertinent de mesurer l'évolution de cette fonction dans le temps et au fil de la récupération. Enfin, l'association entre la vitesse de coordination visuomotrice et la récupération fonctionnelle pourrait être aussi faite afin de mieux comprendre l'impact réel de la performance au *Grooved Pegboard Test* sur le niveau d'autonomie et le niveau fonctionnel à la suite d'un TCCL. Par exemple, est-ce que cette fonction est associée au retour au travail, à la reprise de la conduite automobile ou à la performance scolaire?

Retombées cliniques

En résumé, la vitesse de coordination visuomotrice demeure une fonction essentielle pour l'accomplissement de différentes tâches dans la vie quotidienne (Riolo, 2003), pour la reprise sécuritaire des activités, telles que la conduite automobile et pour les déplacements (Owsley, Ball,

McGwin, Sloane, Roenker, White et Overley, 1998; Owsley, Sloane, McGwin et Ball, 2002) ou encore pour la mobilité, l'équilibre et la démarche (Owsley et McGwin, 2004). Le *Grooved Pegboard Test* s'est avéré un outil utile pour démontrer le ralentissement de coordination visuomotrice après un TCC modéré ou TCC sévère et cet outil a même été démontré comme étant un prédicteur significatif du niveau fonctionnel jusqu'à deux ans après le trauma (Rassovsky, Satz, Alfano, Light, Zaucha, McArthur et Hovda, 2006; Bercaw, Hanks, Millis et Gollas, 2011; Finnanger, Skandsen, Andersson, Lydersen, Vik et Indredavik, 2013). À contrario, notre étude ne permet pas de soutenir l'utilité et la sensibilité de cet outil auprès d'une population TCCL en phase précoce de récupération. En ce sens, nous croyons que des études supplémentaires avec des cohortes plus grandes sont nécessaires pour déterminer le ou les outils les plus utiles et sensibles pour mesurer la vitesse de coordination visuomotrice à la suite d'un TCCL. Malgré nos résultats ne démontrant pas de manière très claire et systématique les impacts d'un TCCL sur la vitesse de coordination visuomotrice, nous suggérons aux cliniciens, en plus d'autres outils, de mesurer malgré tout cette fonction suite à un TCCL puisque 7% de nos patients présentaient tout de même un déficit au *Grooved Pegboard Test* et que plusieurs autres patients se situaient dans la zone limite, surtout si ces derniers doivent conclure à un retour aux activités, tels que la conduite automobile où un travail à risque nécessitant une coordination visuomotrice, tels que la soudure ou monteur de lignes.

Conclusions

En conclusion, aucune différence de la vitesse de coordination visuomotrice n'a été observée entre les groupes de patients TCCL et les contrôles en santé. Par ailleurs, être un homme, être plus âgé et plus lent aux épreuves de vitesse de traitement du WAIS-IV ont été associés à de moins

bonnes performances au *Grooved Pegboard Test*. De surcroît, les symptômes post-commotionnels semblent interférer avec la performance de la main dominante. Enfin, l'état dépressif ou la réserve cognitive n'ont pas été associés à la vitesse et la coordination motrice à la suite d'un TCCL. Notre meilleur modèle de prédiction a permis de prédire 42% de la variabilité au *Grooved Pegboard Test* avec la main dominante et 30% de la variabilité avec la main non dominante. Des études supplémentaires avec d'autres cohortes plus grandes de patients TCCL, d'autres variables à l'étude, des techniques d'imageries plus sensibles et d'autres outils d'évaluation des symptômes seront nécessaires afin de mieux comprendre les variables qui influencent les performances au *Grooved Pegboard Test* suite à un TCCL et ainsi bonifier le modèle de prédiction proposé dans cette étude. Enfin, nous recommandons aux chercheurs de porter une attention particulière aux variables telles que l'âge, le sexe et l'intensité des symptômes post-commotionnels de leurs participants afin de bien contrôler ces variables et d'isoler réellement l'impact du TCCL sur les mesures de vitesse et la coordination motrice.

Références bibliographiques

- Adams, J. H., Doyle, D., Ford, I., Gennarelli, T. A., Graham, D. I., & McLellan, D. R. (1989). *Diffuse axonal injury in head injury: definition, diagnosis and grading. Histopathology, 15*(1), 49-59.
- Adediran, T., Drumheller, B. C., McCunn, M., Stein, D. M., & Albrecht, J. S. (2019). Sex Differences in In-hospital Complications Among Older Adults After Traumatic Brain Injury. *Journal of Surgical Research, 243*, 427-433.
- Arciniegas, D. B., & Wortzel, H. S. (2014). Emotional and behavioral dyscontrol after traumatic brain injury. *Psychiatric Clinics, 37*(1), 31-53.
- Bercaw, E. L., Hanks, R. A., Millis, S. R., & Gola, T. J. (2011). Changes in Neuropsychological Performance after Traumatic Brain Injury from Inpatient Rehabilitation to 1-Year Follow-Up in Predicting 2-Year Functional Outcomes. *The Clinical Neuropsychologist, 25*(1), 72-89.
- Beck, A. T., Steer, R. A., & Brown, G. K. (1996). Beck depression inventory-II. *San Antonio, 78*(2), 490-498.
- Bigler, E. D. (2001). The lesion (s) in traumatic brain injury: Implications for clinical neuropsychology. *Archives of clinical neuropsychology, 16*(2), 95-131.
- Bigler, E. D. (2003). Neurobiology and neuropathology underlie the neuropsychological deficits associated with traumatic brain injury. *Archives of Clinical Neuropsychology, 18*(6), 595-621.
- Bigler, E. D., & Snyder, J. L. (1995). Neuropsychological outcome and quantitative neuroimaging in mild head injury. *Archives of Clinical Neuropsychology, 10*(2), 159-174.
- Blumbergs, P. C., Scott, G., Manavis, J., Wainwright, H., Simpson, D. A., & McLean, A. J. (1994). Staining of amyloid precursor protein to study axonal damage in mild head injury. *The Lancet, 344*(8929), 1055-1056.
- Bolmont, B., Gangloff, P., Vouriot, A., & Perrin, P. P. (2002). Mood states and anxiety influence abilities to maintain balance control in healthy human subjects. *Neuroscience letters, 329*(1), 96-100.
- Bombardier, C. H., Fann, J. R., Temkin, N. R., Esselman, P. C., Barber, J., & Dikmen, S. S. (2010). Rates of major depressive disorder and clinical outcomes following traumatic brain injury. *Jama, 303*(19), 1938-1945.
- Bornstein, R. A. (1985). Normative data on selected neuropsychological measures from a nonclinical sample. *Journal of Clinical Psychology, 41*(5), 651-659.
- Cancelliere, C., Kristman, V. L., Cassidy, J. D., Hincapié, C. A., Côté, P., Boyle, E., ... & Borg, J. (2014). Systematic review of return to work after mild traumatic brain injury: results of the International Collaboration on Mild Traumatic Brain Injury Prognosis. *Archives of physical medicine and rehabilitation, 95*(3), S201-S209.

- Carroll, L., Cassidy, J. D., Peloso, P., Borg, J., Von Holst, H., Holm, L., ... & Pépin, M. (2004). Prognosis for mild traumatic brain injury: results of the WHO Collaborating Centre Task Force on Mild Traumatic Brain Injury. *Journal of rehabilitation medicine, 36*(0), 84-105.
- Caeyenberghs, K., Leemans, A., Coxon, J., Leunissen, I., Drijkoningen, D., Geurts, M., ... & Swinnen, S. P. (2011). Bimanual coordination and corpus callosum microstructure in young adults with traumatic brain injury: a diffusion tensor imaging study. *Journal of neurotrauma, 28*(6), 897-913.
- Causby, R., Reed, L., McDonnell, M., & Hillier, S. (2014). Use of objective psychomotor tests in health professionals. *Perceptual and Motor Skills, 118*(3), 765-804.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2015). Report to congress on traumatic brain injury in the United States: epidemiology and rehabilitation. *National Center for Injury Prevention and Control, 1-72*.
- Cipolotti, L., Healy, C., Chan, E., MacPherson, S. E., White, M., Woollett, K., . . . Shallice, T. (2015). The effect of age on cognitive performance of frontal patients. *Neuropsychologia, 75*, 233-241. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2015.06.011
- Comerford, V. E., Geffen, G. M., May, C., Medland, S. E., & Geffen, L. B. (2002). A rapid screen of the severity of mild traumatic brain injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 24*(4), 409-419.
- Concha, M., Seines, O. A., McArthur, J. C., Nance-Sproson, T., Updike, M. L., Royal, W., ... & Vlahov, D. (1995). Normative data for a brief neuropsychologic test battery in a cohort of injecting drug users. *International journal of the addictions, 30*(7), 823-841.
- Cullen, N., Krakowski, A., & Taggart, C. (2014). Early neuropsychological tests as correlates of return to driving after traumatic brain injury. *Brain injury, 28*(1), 38-43.
- Dagher, J. H., Richard-Denis, A., Lamoureux, J., de Guise, E., & Feyz, M. (2013). Acute global outcome in patients with mild uncomplicated and complicated traumatic brain injury. *Brain injury, 27*(2), 189-199.
- de Guise, E., Lepage, J. F., Tinawi, S., LeBlanc, J., Dagher, J., Lamoureux, J., & Feyz, M. (2010). Comprehensive clinical picture of patients with complicated vs uncomplicated mild traumatic brain injury. *The Clinical Neuropsychologist, 24*(7), 1113-1130.
- Donders, J., & Stout, J. (2018). The influence of cognitive reserve on recovery from traumatic brain injury. *Archives of Clinical Neuropsychology, 34*(2), 206-213.
- Dymowski, A. R., Owens, J. A., Ponsford, J. L., & Willmott, C. (2015). Speed of processing and strategic control of attention after traumatic brain injury. *Journal of clinical and experimental neuropsychology, 37*(10), 1024-1035.
- Eysenck, H. J. (1987). Speed of information processing, reaction time, and the theory of intelligence.

- Fagerlund, B., Pagsberg, A. K., & Hemmingsen, R. P. (2006). Cognitive deficits and levels of IQ in adolescent onset schizophrenia and other psychotic disorders. *Schizophrenia research*, 85(1-3), 30-39.
- Finnanger, T. G., Skandsen, T., Andersson, S., Lydersen, S., Vik, A., & Indredavik, M. (2013). Differentiated patterns of cognitive impairment 12 months after severe and moderate traumatic brain injury. *Brain Injury*, 27(13-14), 1606-1616.
- Gabbard, C. (2004). Lifelong motor development. 4. painos. *San Francisco: Cummings*.
- Gale, S. D., Johnson, S. C., Bigler, E. D., & Blatter, D. D. (1995). Nonspecific white matter degeneration following traumatic brain injury. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 1(1), 17-28.
- Gentry, L. R., Godersky, J. C., & Thompson, B. (1988). MR imaging of head trauma: review of the distribution and radiopathologic features of traumatic lesions. *American Journal of Roentgenology*, 150(3), 663-672.
- Gooden, J. R., Ponsford, J. L., Charlton, J. L., Ross, P. E., Marshall, S., Gagnon, S., ... & Stolwyk, R. J. (2017). Self-awareness and self-ratings of on-road driving performance after traumatic brain injury. *Journal of head trauma rehabilitation*, 32(1), E50-E59.
- Goldberg, A. E., Neifeld, J. P., Wolfe, L. G., & Goldberg, S. R. (2008). Correlation of manual dexterity with USMLE scores and medical student class rank. *Journal of surgical research*, 147(2), 212-215.
- Graham, D. I., & MC INTOCH, T. K. (2000). Maxwell WI. Recent advances in neurotrauma. *J. Neuropath. Exp. Neurol*, 59, 641-651.
- Grieve, M.W, & Zink, B.J. (2009). Pathophysiology of traumatic brain injury. *Mount Sinai Journal of Medicine*, 76, 97-104.
- Gronwall, D. M., & Sampson, H. (1974). The psychological effects of concussion.
- Gunstad, J., & Suhr, J. A. (2001). "Expectation as etiology" versus "the good old days": Postconcussion syndrome symptom reporting in athletes, headache sufferers, and depressed individuals. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 7(3), 323-333.
- Gurdjian, E. S. (1975). Re-evaluation of the biomechanics of blunt impact injury of the head. *Surgery, gynecology & obstetrics*, 140(6), 845-850.
- Guskiewicz, K. M., Ross, S. E., & Marshall, S. W. (2001). Postural stability and neuropsychological deficits after concussion in collegiate athletes. *Journal of athletic training*, 36(3), 263.
- Haywood, K. M., & Getchell, N. (2001). *Learning activities for life span motor development*. Human Kinetics Publishers.

- Heaton, R. K., Miller, S. W., Taylor, M. J., & Grant, I. (2004). *Revised comprehensive norms for an expanded Halstead-Reitan Battery: Demographically adjusted neuropsychological norms for African American and Caucasian adults*. Lutz, FL: Psychological Assessment Resources.
- Hultsch, D. F., Hammer, M., & Small, B. J. (1993). Age differences in cognitive performance in later life: Relationships to self-reported health and activity life style. *Journal of gerontology*, *48*(1), P1-P11.
- Institut national d'excellence en santé et en services sociaux. Traumatisme craniocérébral léger : mise à jour des connaissances en préparation de la révision des orientations ministérielles pour le traumatisme craniocérébral léger. Repéré à https://www.inesss.qc.ca/fileadmin/doc/INESSS/Rapports/Traumatologie/INESSS_Traumatisme_craniocerebral_leger.pdf
- Instrument, L. (2002). Grooved Pegboard test user instructions. *Lafayette: Lafayette Instrument*.
- Iverson, G. L. (2006). Complicated vs uncomplicated mild traumatic brain injury: acute neuropsychological outcome. *Brain Injury*, *20*(13-14), 1335-1344.
- Iverson, G. L., Lange, R. T., Brooks, B. L., & Lynn Ashton Rennison, V. (2010). "Good old days" bias following mild traumatic brain injury. *The Clinical Neuropsychologist*, *24*(1), 17-37.
- Jantzen, K. J., Anderson, B., Steinberg, F. L., & Kelso, J. S. (2004). A prospective functional MR imaging study of mild traumatic brain injury in college football players. *American Journal of Neuroradiology*, *25*(5), 738-745.
- Johansson, B., Berglund, P., & Rönnbäck, L. (2009). Mental fatigue and impaired information processing after mild and moderate traumatic brain injury. *Brain injury*, *23*(13-14), 1027-1040.
- Jones, N. R., Blumbergs, P. C., Brown, C. J., McLean, A. J., Manavis, J., Perrett, L. V., ... & Simpson, D. A. (1998). Correlation of postmortem MRI and CT appearances with neuropathology in brain trauma: a comparison of two methods. *Journal of clinical neuroscience*, *5*(1), 73-79.
- Jorge, R. E., Robinson, R. G., Moser, D., Tateno, A., Crespo-Facorro, B., & Arndt, S. (2004). Major depression following traumatic brain injury. *Archives of general psychiatry*, *61*(1), 42-50.
- Karr, J. E., Areshenkoff, C. N., & Garcia-Barrera, M. A. (2014). The neuropsychological outcomes of concussion: A systematic review of meta-analyses on the cognitive sequelae of mild traumatic brain injury. *Neuropsychology*, *28*(3), 321.
- Keelan, R. E., Mahoney, E. J., Sherer, M., Hart, T., Giacino, J., Bodien, Y. G., ... & Vanderploeg, R. D. (2019). Neuropsychological Characteristics of the Confusional State Following Traumatic Brain Injury. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *25*(3), 302-313.
- Klein, M., Houx, P. J., & Jolles, J. (1996). Long-term persisting cognitive sequelae of traumatic brain injury and the effect of age. *Journal of Nervous and Mental Disease*.
- Kunker, K., Peters, D. M., & Mohapatra, S. (2020). Long-term impact of mild traumatic brain injury on postural stability and executive function. *Neurological Sciences*, 1-9.

- Lavrencic, L. M., Churches, O. F., & Keage, H. A. (2018). Cognitive reserve is not associated with improved performance in all cognitive domains. *Applied Neuropsychology: Adult*, 25(5), 473-485.
- Leary, J. B., Kim, G. Y., Bradley, C. L., Hussain, U. Z., Sacco, M., Bernad, M., ... & Chan, L. (2018). The Association of Cognitive Reserve in Chronic-Phase Functional and Neuropsychological Outcomes Following Traumatic Brain Injury. *The Journal of head trauma rehabilitation*, 33(1), E28-E35.
- Levin, H. S., Amparo, E., Eisenberg, H. M., Williams, D. H., High Jr, W. M., McArdle, C. B., & Weiner, R. L. (1987). Magnetic resonance imaging and computerized tomography in relation to the neurobehavioral sequelae of mild and moderate head injuries. *Journal of neurosurgery*, 66(5), 706-713.
- Levin, H. S., Williams, D. H., Eisenberg, H. M., High, W. M., & Guinto, F. C. (1992). Serial MRI and neurobehavioural findings after mild to moderate closed head injury. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 55(4), 255-262.
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Loring, D. W., & Fischer, J. S. (2004). *Neuropsychological assessment*. Oxford University Press, USA.
- Lopez, K. C., Leary, J. B., Pham, D. L., Chou, Y. Y., Dsurney, J., & Chan, L. (2017). Brain volume, connectivity, and neuropsychological performance in mild traumatic brain injury: The impact of post-traumatic stress disorder symptoms. *Journal of neurotrauma*, 34(1), 16-22.
- Lovell, M. R. (1996). *Evaluation of the professional athlete*. Paper presented at the New Developments in Sports-Related Concussion Conference, Pittsburgh, PA.
- Lovell, M. R. (1999). Evaluation of the professional athlete. In J.E. Bailes, M. R. Lovell, & J. C. Maroon (Eds.), *Sports-related concussion*. St. Louis, MO: Quality Medical Publishing.
- Lovell, M. R., & Collins, M. W. (1998). Neuropsychological assessment of the college football player. *The Journal of head trauma rehabilitation*, 13(2), 9-26.
- MacKenzie, J. D., Siddiqi, F., Babb, J. S., Bagley, L. J., Mannon, L. J., Sinson, G. P., & Grossman, R. I. (2002). Brain atrophy in mild or moderate traumatic brain injury: a longitudinal quantitative analysis. *American Journal of Neuroradiology*, 23(9), 1509-1515.
- MacFlynn, G., Montgomery, E. A., Fenton, G. W., & Rutherford, W. (1984). Measurement of reaction time following minor head injury. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 47(12), 1326-1331.
- Madigan, N. K., DeLuca, J., Diamond, B. J., Tramontano, G., & Averill, A. (2000). Speed of information processing in traumatic brain injury: Modality-specific factors. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 15(3), 943-956.
- Matchock, R. L., & Mordkoff, J. T. (2007). Visual attention, reaction time, and self-reported alertness upon awakening from sleep bouts of varying lengths. *Experimental brain research*, 178(2), 228-239.

- Mathias, J. L., Beall, J. A., & Bigler, E. D. (2004). Neuropsychological and information processing deficits following mild traumatic brain injury. *Journal of the International Neuropsychological Society, 10*(2), 286-297.
- Mathias, J. L., & Wheaton, P. (2007). Changes in attention and information-processing speed following severe traumatic brain injury: a meta-analytic review. *Neuropsychology, 21*(2), 212.
- McCrea, M., Guskiewicz, K. M., Marshall, S. W., Barr, W., Randolph, C., Cantu, R. C., ..., & Kelly, J. P. (2003). Acute effects and recovery time following concussion in collegiate football players: the NCAA concussion study. *JAMA, 290*, 2556-2563.
- McDermott, L. M., & Ebmeier, K. P. (2009). A meta-analysis of depression severity and cognitive function. *Journal of affective disorders, 119*(1-3), 1-8.
- McNay, E. C., & Willingham, D. B. (1998). Deficit in learning of a motor skill requiring strategy, but not of perceptuomotor recalibration, with aging. *Learning & Memory, 4*(5), 411-420.
- Menon, D. K., Schwab, K., Wright, D. W., & Maas, A. I. (2010). Position statement: definition of traumatic brain injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation, 91*(11), 1637-1640.
- Mesulam, M. M. (1998). From sensation to cognition. *Brain, 121*, 1013–1052.
- Mittl, R. L., Grossman, R. I., Hiehle, J. F., Hurst, R. W., Kauder, D. R., Gennarelli, T. A., & Alburger, G. W. (1994). Prevalence of MR evidence of diffuse axonal injury in patients with mild head injury and normal head CT findings. *American Journal of Neuroradiology, 15*(8), 1583-1589.
- Mitrushina, M., Boone, K. B., Razani, J., & D'Elia, L. F. (2005). *Handbook of normative data for neuropsychological assessment*. Oxford University Press.
- Nicholson, K. G., & Kimura, D. (1996). Sex differences for speech and manual skill. *Perceptual and motor skills, 82*(1), 3-13.
- Ontario Neurotraumatology Fondation. (2018). *Guidelines for Concussion Mild Traumatic Brain Injury & Persistent Symptoms: Third Edition*. Repéré à <https://braininjuryguidelines.org/concussion/>
- Osborn, A. J., Mathias, J. L., & Fairweather-Schmidt, A. K. (2014). Depression following adult, non-penetrating traumatic brain injury: a meta-analysis examining methodological variables and sample characteristics. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 47*, 1-15.
- Osborne, J. W., & Overbay, A. (2004). The power of outliers (and why researchers should always check for them). *Practical Assessment, Research, and Evaluation, 9*(1), 6.
- Ouellet, M. C., Beaulieu-Bonneau, S., & Morin, C. M. (2015). Sleep-wake disturbances after traumatic brain injury. *The Lancet Neurology, 14*(7), 746-757.
- Owsley, C., Ball, K., McGwin Jr, G., Sloane, M. E., Roenker, D. L., White, M. F., & Overley, E. T. (1998). Visual processing impairment and risk of motor vehicle crash among older adults. *Jama, 279*(14), 1083-1088.

- Owsley, C., Sloane, M., McGwin Jr, G., & Ball, K. (2002). Timed instrumental activities of daily living tasks: relationship to cognitive function and everyday performance assessments in older adults. *Gerontology, 48*(4), 254-265.
- Owsley, C., & McGwin Jr, G. (2004). Association between visual attention and mobility in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society, 52*(11), 1901-1906.
- Pallant, J. (2005). SPSS survival guide. *Crow's Nest, NSW: Allen & Unwin.*
- Pennathur, A., Contreras, L. R., Arcaute, K., & Dowling, W. (2003). Manual dexterity of older Mexican American adults: a cross-sectional pilot experimental investigation. *International journal of industrial ergonomics, 32*(6), 419-431.
- Peters, M., Servos, P., & Day, R. (1990). Marked sex differences on a fine motor skill task disappear when finger size is used as covariate. *Journal of applied psychology, 75*(1), 87.
- Ponsford, J. (2013). Factors contributing to outcome following traumatic brain injury. *NeuroRehabilitation, 32*(4), 803-815.
- Rabinowitz, A. R., & Levin, H. S. (2014). Cognitive sequelae of traumatic brain injury. *The Psychiatric Clinics of North America, 37*(1), 1.
- Rassovsky, Y., Satz, P., Alfano, M. S., Light, R. K., Zaucha, K., McArthur, D. L., & Hovda, D. (2006). Functional Outcome in TBI II: Verbal Memory and Information Processing Speed Mediators. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 28*(4), 581–591.
- Richardson, L., & Adams, S. (2018). Cognitive deficits in patients with depression. *The Journal for Nurse Practitioners, 14*(6), 437-443.
- Rigal, R. (2003). *Motricité humaine-: Fondements et applications pédagogiques* (Vol. 2). PUQ.
- Riolo, L. (2004). Attention contributes to functional reach test scores in older adults with history of falling. *Physical & Occupational Therapy in Geriatrics, 22*(2), 15-28.
- Rock, P. L., Roiser, J. P., Riedel, W. J., & Blackwell, A. D. (2014). Cognitive impairment in depression: a systematic review and meta-analysis. *Psychological medicine, 44*(10), 2029-2040.
- Roivainen, E. (2011). Gender differences in processing speed: A review of recent research. *Learning and Individual differences, 21*(2), 145-149.
- Rosano, C., Venkatraman, V. K., Guralnik, J., Newman, A. B., Glynn, N. W., Launer, L., ... & Aizenstein, H. (2010). Psychomotor speed and functional brain MRI 2 years after completing a physical activity treatment. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences, 65*(6), 639-647.
- Rosnick, C. B., Small, B. J., Borenstein Graves, A., & Mortimer, J. A. (2004). Health predictors of cognition in the Charlotte County Healthy Aging Study. *Aging, Neuropsychology and Cognition, 11*, 89-99.

- Ruff, R. M., & Parker, S. B. (1993). Gender-and age-specific changes in motor speed and eye-hand coordination in adults: normative values for the Finger Tapping and Grooved Pegboard Tests. *Perceptual and motor skills*, 76(3_suppl), 1219-1230.
- Schmidt, S. L., Oliveira, R. M., Rocha, F. R., & Abreu-Villaca, Y. (2000). Influences of handedness and gender on the grooved pegboard test. *Brain and cognition*, 44(3), 445-454.
- Schmidt, J. D., Hoffman, N. L., Ranchet, M., Miller, L. S., Tomporowski, P. D., Akinwuntan, A. E., & Devos, H. (2017). Driving after concussion: is it safe to drive after symptoms resolve? *Journal of neurotrauma*, 34(8), 1571-1578.
- Seidler, R. D. (2006). Differential effects of age on sequence learning and sensorimotor adaptation. *Brain research bulletin*, 70(4-6), 337-346.
- Selnes, O. A., Jacobson, L., Machado, A. M., Becker, J. T., Wesch, J., Miller, E. N., ... & McArthur, J. C. (1991). Normative data for a brief neuropsychological screening battery. *Perceptual and Motor Skills*, 73(2), 539-550.
- Shumskaya, E., Andriessen, T. M., Norris, D. G., & Vos, P. E. (2012). Abnormal whole-brain functional networks in homogeneous acute mild traumatic brain injury. *Neurology*, 79(2), 175-182.
- Skandsen, T., Finnanger, T. G, Andersson, S., Lydersen, S., Brunner, J. F., & Vik, A. (2010). Cognitive Impairment 3 Months After Moderate and Severe Traumatic Brain Injury: A Prospective Follow-Up Study. *Arch Phys Med Rehabil*, 91, 1904-1913.
- Skidmore, E. R. (2015). Training to optimize learning after traumatic brain injury. *Current physical medicine and rehabilitation reports*, 3(2), 99-105.
- Slobounov, S., Sebastianelli, W., & Simon, R. (2002). Neurophysiological and behavioral concomitants of mild brain injury in collegiate athletes. *Clinical Neurophysiology*, 113(2), 185-193.
- Smith, D. H., Meaney, D. F., & Shull, W. H. (2003). Diffuse axonal injury in head trauma. *The Journal of head trauma rehabilitation*, 18(4), 307-316.
- Song, C. S. (2015). Relationship between visuo-perceptual function and manual dexterity in community-dwelling older adults. *Journal of physical therapy science*, 27(6), 1871-1874.
- Spikman, J. M., Van Der Naalt, J., Van Weerden, T. W., & Van Zomeren, A. H. (2004). Indices of slowness of information processing in head injury patients: tests for selective attention related to ERP latencies. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 10(6), 851-861.
- Spirduso, W. W. (1980). Physical fitness, aging, and psychomotor speed: a review. *Journal of gerontology*, 35(6), 850-865.
- Sumowski, J. F., Chiaravalloti, N., Krch, D., Paxton, J., & DeLuca, J. (2013). Education attenuates the negative impact of traumatic brain injury on cognitive status. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 94(12), 2562-2564.

- Steffener, J., & Stern, Y. (2012). Exploring the neural basis of cognitive reserve in aging. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*, 1822(3), 467-473.
- Stern, Y., Habeck, C., Moeller, J., Scarmeas, N., Anderson, K. E., Hilton, H. J., ... & Van Heertum, R. (2004). Brain networks associated with cognitive reserve in healthy young and old adults. *Cerebral Cortex*, 15(4), 394-402.
- Stern, Y., & Habeck, C. (2018). Deriving and Testing the Validity of Cognitive Reserve Candidates. In *Biomarkers for Preclinical Alzheimer's Disease* (pp. 63-70). Humana Press, New York, NY.
- Stokx, L. C., & Gaillard, A. W. (1986). Task and driving performance of patients with a severe concussion of the brain. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 8(4), 421-436.
- Strauss, E., Sherman, E. M., & Spreen, O. (2006). A compendium of neuropsychological tests.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2012). Chapter 13 principal components and factor analysis. *Using multivariate statistics*. London: Pearson.
- Terry, D. P., Brassil, M., Iverson, G. L., Panenka, W. J., & Silverberg, N. D. (2018). Effect of depression on cognition after mild traumatic brain injury in adults. *The Clinical Neuropsychologist*, 33(1), 124-136.
- Thompson, H. J., McCormick, W. C. et Kagan, S. H. (2006). Traumatic Brain Injury in Older Adults: Epidemiology, Outcomes, and Future Implications. *Journal of the American Geriatrics Society*, 54(10), 1590-1595. doi: 10.1111/j.1532-5415.2006.00894.x
- Vakil, E. (2005). The effect of moderate to severe traumatic brain injury (TBI) on different aspects of memory: a selective review. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 27(8), 977-1021.
- Valentini, N. C., & Rudisill, M. E. (2004). Motivational climate, motor-skill development, and perceived competence: Two studies of developmentally delayed kindergarten children. *Journal of teaching in physical education*, 23(3), 216-234.
- van Donkelaar, P., Osternig, L., & Chou, L. S. (2006). Attentional and biomechanical deficits interact after mild traumatic brain injury. *Exercise and sport sciences reviews*, 34(2), 77-82.
- Van Der Horn, H. J., Kok, J. G., De Koning, M. E., Scheenen, M. E., Leemans, A., Spikman, J. M., & Van Der Naalt, J. (2017). Altered wiring of the human structural connectome in adults with mild traumatic brain injury. *Journal of neurotrauma*, 34(5), 1035-1044.
- Van Zomeren, A. H. (1981). Reaction time and attention after closed head injury. *Swets & Zeitlinger*.
- Villeneuve, S., & Belleville, S. (2010). Cognitive reserve and neuronal changes associated with aging. *Psychologie & neuropsychiatrie du vieillissement*, 8(2), 133-140.
- von Holst, H., & Cassidy, J. D. (2004). Mandate of the WHO collaborating centre task force on mild traumatic brain injury. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 36(0), 8-10.

- Waterloo, K., Ingebrigtsen, T., & Romner, B. (1997). Neuropsychological function in patients with increased serum levels of protein S-100 after minor head injury. *Acta neurochirurgica*, 139(1), 26-32.
- Wechsler, D. (2008). Wechsler adult intelligence scale—Fourth Edition (WAIS—IV). *San Antonio, TX: NCS Pearson*, 22, 498.
- Werner, C., & Engelhard, K. (2007). Pathophysiology of traumatic brain injury. *BJA: British Journal of Anaesthesia*, 99(1), 4-9.
- Xiong, K. L., Zhang, J. N., Zhang, Y. L., Zhang, Y., Chen, H., & Qiu, M. G. (2016). Brain functional connectivity and cognition in mild traumatic brain injury. *Neuroradiology*, 58(7), 733-739.
- Yue, J. K., Ngwenya, L. B., Upadhyayula, P. S., Deng, H., Winkler, E. A., Burke, J. F., ... & Cnossen, M. C. (2017). Emergency department blood alcohol level associates with injury factors and six-month outcome after uncomplicated mild traumatic brain injury. *Journal of clinical neuroscience*, 45, 293-298.
- Yuh, E. L., Cooper, S. R., Ferguson, A. R., & Manley, G. T. (2012). Quantitative CT improves outcome prediction in acute traumatic brain injury. *Journal of neurotrauma*, 29(5), 735-746.
- Zahn, T. P., & Mirsky, A. F. (1999). Reaction time indicators of attention deficits in closed head injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 21(3), 352-367.

