

Université de Montréal

Les outils d'évaluation du système visuel utilisé en contexte aigu de commotion cérébrale dans
le sport

Par

Elizabeth Giguère-Lemieux

Programme de sciences biomédicales, Faculté de médecine
en extension à l'Université du Québec à Trois-Rivières

Mémoire présenté
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise ès sciences (M.Sc.)
en sciences biomédicales

Juillet 2025

© Elizabeth Giguère-Lemieux, 2025

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire, de cette thèse ou de cet essai a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire, de sa thèse ou de son essai.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire, cette thèse ou cet essai. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire, de cette thèse et de son essai requiert son autorisation.

Université de Montréal
Programme de sciences biomédicales, Faculté de médecine
en extension à l'Université du Québec à Trois-Rivières

Ce mémoire intitulé

**Les outils d'évaluation du système visuel utilisé en contexte aigu de commotion cérébrale
dans le sport**

Présenté par

Elizabeth Giguère-Lemieux

A été évaluée par un jury composé des personnes suivantes

Jeffrey Caron

Président-rapporteur

Laurie-Ann Corbin-Berrigan

Directrice de recherche

Jean Lemoyne

Codirecteur

Gabriel Moisan

Membre du jury

Résumé

La commotion cérébrale est une blessure à la tête qui survient fréquemment en contexte sportif. Cette blessure demeure complexe en raison de la diversité des signes et symptômes ainsi que du risque de récupération prolongée. Les fonctions visuelles, telles que la convergence, l'accommodation, la poursuite oculaire, le réflexe oculovestibulaire et la saccade, peuvent être altérées chez une proportion importante de la population athlétique à la suite d'une commotion cérébrale. Ces altérations peuvent contribuer à certains symptômes de la commotion, notamment les étourdissements, la vision floue, la vision double, la difficulté à lire et la difficulté de concentration. Ces fonctions visuelles sont essentielles à certaines tâches de la vie courante et à la performance sportive. Il est donc primordial de les évaluer à la suite d'une commotion cérébrale afin d'assurer une prise en charge optimale et un retour au jeu sécuritaire des athlètes. Or, l'évaluation du système visuel reste très peu intégrée dans l'examen multimodal aigu de la commotion cérébrale actuellement recommandée. De ce fait, l'objectif de ce projet est donc d'analyser, par une revue systématique de la littérature, les outils d'évaluation du système visuel utilisés en contexte aigu (0 à 7 jours) de commotion cérébrale dans le sport et de rapporter leurs propriétés psychométriques. Quatre outils ont été identifiés, soit le test de dépistage vestibulo-oculomoteur (VOMS), le test *King-Devick*, deux dispositifs technologiques de suivi du mouvement oculaire ainsi que le *Mobile Universal Lexicon Evaluation System* (MULES). Parmi ceux-ci, le VOMS est le plus étudié et semble le plus valide afin d'identifier les athlètes ayant subi une CC. Le *King-Devick* présente lui aussi un bon potentiel, mais demeure plus limité en contexte clinique puisqu'il dépend d'une valeur de référence présaison ou préblessure pour être utilisé. De futures recherches sont nécessaires afin d'établir la valeur clinique des autres outils. En outre, ce projet de recherche soutient l'intégration d'un outil d'évaluation du système visuel lors du dépistage de la commotion cérébrale chez les athlètes.

Mots-clés : commotion cérébrale, sport, système visuel, revue systématique de la littérature

Abstract

Concussion is a common head injury in sports. Its complexity originates from its wide range of signs and symptoms as well as its risk of prolonged recovery. Visual functions such as convergence, accommodation, smooth pursuit, vestibulo-ocular reflex and saccades may be impaired in a significant proportion of athletes following concussion. These alterations can contribute to various concussion symptoms, including dizziness, blurred vision, double vision, reading and concentration difficulties. These visual functions are essential for daily activities and during sports performance. Thus, their assessment is crucial after a concussion to ensure proper injury management and safe return to sport. However, visual system evaluation has been neglected in the multimodal assessment of sport-related concussion. Therefore, the purpose of this research project was to analyze, through a systematic review of the literature, visual assessment tool used in the acute phase (0-7 days) of sport-related concussion and to report their psychometric properties when available. Four tools were identified: the Vestibulo-Ocular Motor Screening (VOMS), the *King-Devick*, two eye-tracking devices and the *Mobile Universal Lexicon Evaluation System* (MULES). Among these, the VOMS was the most studied and appears to be a valid tool for identifying concussed athletes. The *King-Devick* test also shows potential, but its clinical application is more limited due to its reliance on preseason or pre-injury data. Additional research is needed to further establish the value of other included tools. In summary, this research supports the integration of visual assessment tools into the acute multimodal evaluation of sport-related concussion.

Keywords: concussion, sport, visual system, systematic review of the literature

Table des matières

Résumé	3
Abstract	4
Table des matières	5
Liste des tableaux.....	9
Liste des figures.....	10
Liste des sigles et abréviations	11
Remerciements	13
Chapitre 1 – Introduction	14
1.1 La commotion cérébrale dans le sport	14
1.1.1 Définition et description	14
1.1.2 Épidémiologie	16
1.1.3 Affectations cliniques.....	17
1.2 Évaluation de la commotion cérébrale	22
1.2.1 Identification	22
1.2.2 Consensus international	23
1.2.3 Outils d'évaluation	24
1.3 Récupération de la commotion cérébrale	27
1.3.1 Récupération normale	28
1.3.2 Récupération prolongée	29
Chapitre 2 – Problématique et objectifs	31
Chapitre 3 – Article scientifique: Visual Assessment Tools Used in Acute Sport-Related Concussion: A Systematic Review	33

3.1 Abstract.....	35
3.2 Introduction	36
3.3 Methods.....	38
3.3.1 Protocol.....	38
3.3.2 Eligibility criteria	38
3.3.3 Information sources.....	39
3.3.4 Search strategy	39
3.3.5 Selection process	39
3.3.6 Data extraction	39
3.3.7 Risk of bias assessment.....	40
3.3.8 Data analysis	40
3.4 Results.....	40
3.4.1 Study selection.....	40
3.4.2 Study characteristics	41
3.4.3 Risk of bias	54
3.4.4 Results.....	56
3.5 Discussion	61
3.5.1 Clinical application	63
3.5.2 Recommendations for future research.....	63
3.6 Conclusion.....	64
3.7 References	65
3.8 Supplementary file.....	73
Chapitre 4 – Compléments d’information	76
4.1.1 Test de dépistage vestibulo-oculomoteur (VOMS)	76

4.1.2 <i>King-Devick</i> (K-D).....	77
4.1.3 Les dispositifs de suivi du mouvement oculaire.....	78
4.1.4 <i>Mobile Universal Lexicon Evaluation System</i> (MULES)	79
Chapitre 5 – Discussion générale	81
5.1 Test de dépistage vestibulo-oculomoteur (VOMS)	81
5.1.1 L'identification de la commotion cérébrale	81
5.1.2 Les seuils cliniques	83
5.1.3 Processus de récupération.....	84
5.1.4 Sommaire	85
5.2 Test <i>King-Devick</i> (K-D)	85
5.2.1 L'identification de la commotion cérébrale	85
5.2.2 Les seuils cliniques	86
5.2.3 Processus de récupération.....	86
5.2.4 Sommaire	87
5.3 Autres outils d'évaluation du système visuel.....	87
5.3.1 Dispositifs du suivi du mouvement des yeux	87
5.3.2 <i>Mobile Universal Lexicon Evaluation System</i> (MULES)	88
5.4 Application clinique	88
5.5 Sommaire des limites et des perspectives expérimentales	90
Chapitre 6 – Conclusion	92
Références bibliographiques	93
Annexes	114
Annexe A : test de dépistage vestibulo-oculomoteur (VOMS)	115
Annexe B : test <i>King-Devick</i>	118

Annexe C : Mobile Universal Lexicon Evaluation System (MULES) 119

Liste des tableaux

Tableau 1. –	Symptômes aigus de la CC tirés des critères de Silverberg et al. (2023).....	19
Tableau 2. –	Comparaison des items inclus dans le VOMS original et le VOMS modifié	27
Tableau 3. –	Study Summary	43
Tableau 4. –	Data Extraction for Articles using VOMS as Visual Assessment Tool	46
Tableau 5. –	Data Extraction for Articles using King-Devick as Visual Assessment Tool	51
Tableau 6. –	Data Extraction for Articles using Other or Combined Tool.....	52
Tableau 7. –	Risk of Bias Assessment using JBI Tools (Cohort Study)	55
Tableau 8. –	Risk of Bias Assessment using JBI Tools (Cross-Sectional Study)	56
Tableau 9. –	Risk of Bias Assessment using JBI Tools (Case-Control Study)	56
Tableau 10. –	Risk of Bias Assessment using JBI Tools (Case Series Study)	56
Tableau 11. –	Résumé des principales caractéristiques des outils d'évaluation du système visuel inclus dans la revue systématique de la littérature	79

Liste des figures

Figure 1. –	PRISMA Flow Diagram.....	41
Figure 2. –	Protocole du dépistage vestibulo-oculomoteur (VOMS)	117
Figure 3. –	Cartes de démonstration et de test du King-Devick.	118
Figure 4. –	Le test <i>Mobile Universal Lexicon Evaluation System</i>	119

Liste des sigles et abréviations

ACRM : *American Congress of Rehabilitation Medicine*

CC : commotion cérébrale

K-D : King-Devick

MULES : *Mobile Universal Lexicon Evaluation System*

mVOMS : test de dépistage vestibulo-oculomoteur modifié (*modified Vestibulo Ocular Motor Screening*)

PC : point de convergence

PPCS : symptômes post-commotionnels persistants (*persitent post-concussion symptoms*)

ROV : réflexe oculovestibulaire

SCAT6 : Outil d'évaluation des commotions cérébrales dans le sport-6 (*Sport Concussion Assessment Tool 6*)

SCOAT6 : Outils d'évaluation des commotions cérébrales dans le sport en cabinet-6 (*Sport Concussion Office Assessment Tool 6*)

SVM : sensibilité visuelle au mouvement

TCCL : traumatisme craniocérébral léger

VOMS : test de dépistage vestibulo-oculomoteur (*Vestibulo Ocular Motor Screening*)

*À mes parents pour leur soutien indéfectible et leur amour immense, ainsi qu'à mon petit chien,
pour sa patience silencieuse (pas toujours) et sa présence réconfortante.*

Remerciements

Je tiens à remercier chaleureusement ma directrice, Laurie-Ann Corbin-Berrigan, pour son enthousiasme constant à l'égard de mon projet, son encadrement minutieux ainsi qu'à sa grande générosité en termes de temps. Elle a toujours su trouver les mots justes pour me motiver. Merci également à mon codirecteur, Jean Lemoyne, pour sa présence et son soutien dans les moments clés de mon parcours. Je souhaite exprimer ma reconnaissance à Alexandrine Paquin, Vladislav Bepomoshchnov et Maxime Dessureault pour leur précieuse contribution aux différentes étapes du projet de recherche. Leur implication a été essentielle à la rigueur scientifique de cette étude. Je remercie sincèrement les Fonds de Recherche du Québec - Santé (FRQS) pour leur soutien financier durant mes deux années de maîtrise. Enfin, un merci tout spécial à mes parents, Serge et Danny, pour leur appui indéfectible, sous toutes ses formes, durant ces deux années... ma foi, intenses.

Chapitre 1 – Introduction

1.1 La commotion cérébrale dans le sport

1.1.1 Définition et description

La commotion cérébrale (CC) se définit comme un traumatisme craniocérébral causé par une force biomécanique, directe ou indirecte, transmise au cerveau (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). Par exemple : un tête-à-tête entre deux joueurs de soccer, une balle de baseball qui frappe directement la tête d'un joueur ou encore une mise en échec au hockey, créant un mouvement brusque d'accélération ou de rotation à la tête sans qu'elle ait été frappée directement. Le spectre du traumatisme craniocérébral peut se catégoriser sous la forme : léger, modéré ou sévère. Il convient alors de souligner que les termes « commotion cérébrale » et « traumatisme craniocérébral léger » (TCCL) sont fréquemment employés de manière interchangeable. Dans la littérature scientifique, la distinction entre ces deux termes n'est pas bien définie et semble relativement minime. En général, le terme « commotion cérébrale » semblerait être davantage employé en contexte de sport tandis que celui du TCCL serait plus couramment utilisé auprès de la population générale et militaire (Silverberg et al., 2021). Cependant, ces deux termes sont considérés comme des synonymes, puisqu'ils renvoient au même mécanisme physiopathologique (McCrory & Berkovic, 2001; Silverberg et al., 2023). Dans le présent mémoire, le terme « **commotion cérébrale** » sera utilisé à des fins de cohérence terminologique. Tel que mentionné, la CC survient majoritairement dans un contexte de sport ou d'activité physique. En effet, selon le groupe d'âge étudié, il est estimé qu'entre 25 % et 65 % de tous les CC se produisent durant une activité sportive (Statistiques Canada, 2024). Cependant, elle peut également survenir en cas d'accident de voiture ou de chute (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). Les études animales ont permis d'étudier les mécanismes physiologiques découlant de la CC. Plus précisément, il est suggéré que la force transmise au cerveau pourrait entraîner une altération au niveau des axones, attribuable aux des forces de cisaillement, de compression ou d'étirement subies par les membranes neuronales (Giza & Hovda, 2014). Cet

événement déclenchera une cascade neuro-métabolique complexe. Celle-ci s'amorce par un déséquilibre entre les pompes potassium et calcium, puis se poursuit par d'autres perturbations métaboliques telles qu'une augmentation de la demande en glucose, une dysfonction mitochondriale causant du stress oxydatif ainsi qu'une diminution du débit sanguin cérébral (Banks & Dominguez, 2019; Giza & Hovda, 2014). Il est important de noter que, dans la majorité des cas, aucune anomalie au niveau du cerveau ne sera détectée à l'imagerie structurelle, telle que la tomodensitométrie ou l'imagerie par résonance magnétique (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). Cela dit, la CC altère le fonctionnement du cerveau sans pour autant occasionner des dommages à sa structure (McCrory et al., 2017).

Bien que ces perturbations métaboliques ne soient pas visibles, des signes cliniques et des symptômes seront toutefois observés chez les individus blessés, soit au moment de l'impact, soit dans les heures, voir les jours suivants (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). Typiquement, la présentation clinique de la CC est de nature transitoire, donc dans la plupart des cas, les signes et symptômes se résorberont après quelques jours (Harmon et al., 2019; McCrory et al., 2017). Parmi les signes cliniques observables, on retrouve : la perte ou l'altération de conscience, l'amnésie, des troubles de l'équilibre, **des dysfonctions visuelles**, etc. (Silverberg et al., 2023). Quant aux symptômes, ils peuvent être d'ordre physique, cognitif ou émotionnel. À titre d'exemples : mal de tête, nausées, confusion, somnolence, sensibilité à la lumière, anxiété, trouble du sommeil, etc. (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023; Silverberg et al., 2023). Il importe de mentionner que la présentation des signes cliniques et des symptômes est unique et variable d'un individu à l'autre, nécessitant une évaluation et une prise en charge individualisées. La section 1.1.3 portera sur les affectations cliniques, en donnant plus de détails sur la symptomatologie de la CC. En outre, bien que la majorité des individus récupèrent en quelques semaines, une récupération prolongée demeure également possible (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). La section 1.3 abordera le thème de la récupération.

En raison de sa forte prévalence et des enjeux propres à son contexte, la suite de ce mémoire portera spécifiquement sur la **CC chez la population sportive**.

1.1.2 Épidémiologie

La CC est une blessure fréquente, notamment dans le sport, et est reconnue comme un problème de santé publique depuis deux décennies (Wiebe et al., 2011). En effet, la CC représente 70% à 90% de tous les traumatismes craniocérébraux (Gagné et al., 2019). On dénombre qu'annuellement, entre 1,6 à 3,8 millions d'individus subissent une CC aux États-Unis (Langlois et al., 2006). Ce chiffre est estimé autour de 1,1 à 1,9 million chez la population pédiatrique (Bryan et al., 2016). En 2022, 573 000 Canadiens âgés de 12 ans et plus ont subi une CC (Statistiques Canada, 2024). Parmi cette cohorte, c'est une CC sur quatre qui s'est produite dans un contexte sportif. Puis, lorsqu'on observe spécifiquement les 12 à 17 ans, c'est deux CC sur trois qui avaient lieu durant une activité sportive (Statistiques Canada, 2024). En 2009-2010, la CC représentait environ 3 % de tous les traumatismes survenant durant une activité sportive (Gagné et al., 2019). Ce taux est passé à 5 % en 2015-2016 (Hamel et al., 2019). Cette hausse pourrait s'expliquer, entre autres, par une meilleure détection des CC ainsi que par une éducation et une sensibilisation accrue des athlètes et des entraîneurs quant à celle-ci, découlant d'une augmentation significative des données probantes entourant cette blessure au cours de la dernière décennie (Pierpoint & Collins, 2021).

Concernant le rôle du sexe biologique sur le risque de subir une CC, celui-ci est plus élevé chez les femmes que chez les hommes dans des disciplines sportives comparables (Davis-Hayes et al., 2017; Galarneau et al., 2024; Wallace et al., 2017; Zuckerman et al., 2015). Par exemple, au soccer et au basketball, les femmes seraient 1,76 à 2 fois plus à risque de subir une CC par rapport aux hommes (Cheng et al., 2019). Toutefois, la forte proportion d'hommes pratiquant des sports à haut risque de CC, tels que le football, les exposent également de manière importante à cette blessure (Hamel et al., 2019; Kerr et al., 2017). Concernant le rôle de l'âge sur le risque de subir CC, il est rapporté que 50 % des cas surviennent chez les individus âgés de 12 à 24 ans (Hamel et al., 2019). Cette proportion est répartie de façon équivalente entre les 12-17 ans et les 18-24 ans, chacun de ces groupes représentant 25 % des cas de CC (Hamel et al., 2019). Cela pourrait s'expliquer par la pratique d'un sport à risque de CC plus fréquente chez ces groupes d'âge, comparativement aux individus âgés de 25 ans et plus (Hamel et al., 2019).

Chez les étudiants-athlètes de niveau secondaire et collégial, il est estimé que la CC représente de 6 % à 13 % de l'ensemble des blessures rapportées et que le football américain serait responsable d'environ 75 % du nombre total de commotions cérébrales (Frommer et al., 2011; Karlin, 2011; Lincoln et al., 2011; Marar et al., 2012; Veliz et al., 2017, 2021). D'autres sports présentent également un risque élevé de CC tels que le hockey sur glace, la boxe, le rugby, le lacrosse, le basketball et le soccer (Chandran et al., 2022; Lincoln et al., 2011; Waltzman et al., 2020). D'ailleurs, il a été rapporté que chez les femmes adolescentes, 50 % des CC ont lieu au soccer (Frommer et al., 2011; Lincoln et al., 2011). Les mécanismes de blessure les plus fréquents associés aux CC sont les collisions entre joueurs et les contacts avec un équipement ou une surface (Cassinat et al., 2024; Zuckerman et al., 2015).

Il est essentiel de signaler que les données relatives au taux d'incidence de la CC en contexte sportif sont sous-estimées. Effectivement, la majorité des systèmes de surveillance de la CC recensent les cas qui ont été traités dans les centres médicaux, excluant les individus soignés ailleurs, par exemple en clinique externe, ou n'ayant pas consulté (Bell et al., 2017). Une autre cause possible de cette sous-estimation est la sous-déclaration des symptômes liés à la CC, menant à des diagnostics manqués. Selon un sondage anonyme mené auprès d'athlètes collégiaux, 43 % de ceux ayant subi une CC dans le passé ont indiqué ne pas avoir rapporté leurs symptômes à leurs entraîneurs, dans le but de continuer à jouer (Torres et al., 2013).

1.1.3 Affectations cliniques

Tel que décrit à la section 1.1.1, plusieurs signes cliniques et symptômes peuvent se développer immédiatement ou jusqu'à quelques jours suivant l'événement ayant entraîné la CC (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023; Silverberg et al., 2023). Il est d'abord important de distinguer les signes cliniques des symptômes. D'une part, les signes cliniques sont observés par l'évaluateur et peuvent se manifester par : une perte de conscience immédiatement après l'impact ; une altération de l'état mental (par exemple : réponse lente ou inappropriée aux instructions, désorientation quant au temps, au lieu ou à la situation) ; une amnésie partielle ou complète des événements qui précèdent ou qui suivent l'impact ; ou encore d'autres signes neurologiques, tels

qu'une incoordination motrice, des convulsions ou une posture tonique observée dans les secondes après l'impact (Silverberg et al., 2023). Ces signes apparaissent généralement immédiatement après l'impact, ils sont transitoires et de courte durée (Silverberg et al., 2023). D'ailleurs, il serait estimé que la perte de conscience ne se produit que dans seulement 10 % des cas (Mullally, 2017). D'une autre part, les symptômes constituent plutôt un ressenti subjectif de la part de l'athlète et se traduisant en : altération subjective de l'état mental; des symptômes physiques; des symptômes cognitifs et des symptômes émotionnels (Silverberg et al., 2023). L'apparition des symptômes est entre quelques minutes et 72 heures après l'impact et ils peuvent persister de 7 jours à plusieurs mois après la blessure (McCrory et al., 2017; Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). Le tableau 1, adapté des critères diagnostics de la CC publiés par Silverberg et al. (2023) présente une liste de ces derniers. Les symptômes les plus fréquemment rapportés sont les maux de tête, présents dans jusqu'à 93 % des cas de CC en contexte sportif, ainsi que les étourdissements, rapportés dans environ 50 % des cas (Lau, Kontos, et al., 2011; Lucas & Blume, 2017; McCrory et al., 2000). Les femmes tendent à rapporter un plus grand nombre de symptômes que les hommes, notamment la sensibilité à la lumière et la somnolence (Covassin et al., 2013; Frommer et al., 2011).

D'autres altérations cliniques aiguës survenant à la suite d'une CC peuvent être identifiées, notamment lors de l'évaluation plus approfondie ou lors d'examens de laboratoire, majoritairement expérimentaux, réalisés par un professionnel de la santé. Il peut s'agir de dysfonctions cognitives, de troubles d'équilibre, **d'altérations oculomotrices**, de troubles du sommeil ou de biomarqueurs sanguins élevés, malgré que ces derniers nécessitent encore une validation scientifique (Silverberg et al., 2023). La présence de telles altérations peut impacter les activités de la vie quotidienne, qu'il s'agisse des activités scolaires, du travail ou des activités physiques et sportives. En effet, les symptômes peuvent s'exacerber lors de tâches cognitives ou d'activités accélérant le rythme cardiaque (Blake et al., 2016; La Fontaine et al., 2016; Leddy et al., 2023). La présentation clinique de la CC, tout comme les besoins de chaque individu, est unique, ce qui rend la prise en charge d'autant plus complexe. En plus des signes, symptômes et altérations cliniques abordés précédemment, les données issues de la littérature indiquent que

les athlètes ayant subi une CC ont un risque accru de vivre de l’anxiété et de souffrir de symptômes dépressifs (Covassin et al., 2023; Patlan et al., 2024). Une étude menée en 2022 auprès d’un large échantillon d’athlètes collégiaux a démontré que la prévalence d’anxiété chez les athlètes ayant subi une CC s’élevait à environ 25 % (D’Alonzo et al., 2022). Par ailleurs, une diminution de la confiance générale et un sentiment d’être insuffisamment prêt à reprendre le sport sont des phénomènes qui peuvent être observés à la suite d’une CC et qui peuvent persister au-delà du retour au jeu (Crofts et al., 2025). Ces constats soulignent l’importance de détecter et de prendre en charge l’ensemble des facteurs biopsychosociaux entourant la CC dans le sport.

Tableau 1. – Symptômes aigus de la CC adaptés des critères de Silverberg et al. (2023)

Altération subjective de l’état mental	Symptômes physiques	Symptômes cognitifs	Symptômes émotionnels
Confusion	Mal de tête	Sensation d’être au ralenti	Irritabilité
Désorientation	Étourdissement		Labilité émotionnelle (variation soudaine et intense de l’humeur)
Se sentir abasourdi (en terme plus familier : se sentir « sonné »)	Problèmes d’équilibre	Sensation « d’être dans le brouillard »	
	Nausée	Trouble de mémoire	
	Problèmes de vision	Difficulté de concentration	
	Sensibilité à la lumière		
	Sensibilité au bruit		

1.1.3.1 Affectation du système visuelle

Il est estimé que **30 % des athlètes présenteront des dysfonctions visuelles à la suite d’une CC** (Kontos et al., 2012). Ce pourcentage peut atteindre **69 % lorsqu’on étudie spécifiquement les adolescents** (Master et al., 2016). Le mouvement des yeux requiert l’activation de plusieurs régions du cerveau, dont le cortex frontal, les cortex pariétaux ainsi que les noyaux corticaux, correspondant à 50 % des circuits cérébraux (Kaas, 2008, 2017; White & Fielding, 2012). Or, toutes les régions du cerveau sont vulnérables à la CC, augmentant ainsi le risque de déficits visuels à la suite de cette blessure (Akhand et al., 2019). Les principales composantes du

mouvement des yeux susceptibles d'être altérées après une CC sont la poursuite oculaire, la saccade, le réflexe oculovestibulaire, la convergence et l'accommodation (Ventura et al., 2014, 2015). Plusieurs symptômes peuvent être associés à ces anomalies. Par exemple, la vision floue, la photophobie et la vision double sont rapportées auprès d'environ 40% des enfants et des adolescents à la suite d'une CC (Ledoux et al., 2019; Master et al., 2018). Par ailleurs, les étourdissements, un symptôme pouvant résulter d'une atteinte au système oculomoteur, sont recensés chez 50 % des athlètes ayant subi une CC (Ciuffreda et al., 2011; Lau, Kontos, et al., 2011). D'autres manifestations, telles que la difficulté à lire, la difficulté de concentration ainsi qu'une fatigue au niveau des yeux, peuvent être en lien avec des déficits au niveau de la vision (Master et al., 2022; Pillai & Gittinger, 2017). En outre, il importe de préciser que les dysfonctions visuelles post-CC peuvent se traduire par un large éventail de symptômes. Ceci met en lumière l'importance d'adresser les dysfonctions visuelles lors de l'évaluation de la CC dans le but d'identifier les causes sous-jacentes de ces symptômes et d'orienter efficacement la prise en charge.

La poursuite oculaire

La poursuite oculaire est l'action de suivre un objet à basse vitesse avec les yeux dans différentes directions, telles que l'horizontale et la verticale (Ventura et al., 2014). Par exemple, suivre le curseur d'un ordinateur, sans bouger la tête. Ce mouvement est programmé par le cervelet, qui reçoit des signaux en provenance de la rétine et du cortex préfrontal (Liu et al., 2010). Un déficit de cette fonction pourrait indiquer une atteinte à des fonctions cognitives plus complexes, telles que la mémoire de travail, l'anticipation et l'attention (Barnes, 2008). **Il a été démontré que la poursuite oculaire était significativement moins efficace chez les personnes souffrant d'une CC comparativement à ceux n'ayant pas subi ce traumatisme, environ 60 % en seraient affectés** (Capó-Aponte et al., 2012; Hunfalvay et al., 2021).

La saccade

La saccade est le mouvement qui permet de déplacer son regard d'un point à l'autre à haute vitesse, à l'horizontale ou à la verticale (Ventura et al., 2014). Ce mouvement peut être induit par réflexe ou de façon volontaire (Munoz et al., 2007). Il s'agit d'un processus complexe, présent

notamment lors de la lecture ou même lors du sport au moment de l'analyse du jeu, qui demande le déploiement de plusieurs centres cérébraux (Hutton, 2008; Master et al., 2022). Il a été démontré que cette fonction visuelle peut être déficiente à la suite d'une CC. **Entre autres, la saccade serait anormale chez environ 30 % des enfants et des adolescents ayant subi une CC et jusqu'à 50 % des athlètes adultes** (Cochrane et al., 2019; Master et al., 2016).

Le réflexe oculovestibulaire

Le réflexe oculovestibulaire (VOR) est une fonction essentielle permettant de stabiliser le regard alors que la tête est en mouvement, en combinant les fonctions du système vestibulaire ainsi que ceux du système oculomoteur (Fetter, 2007; Kontos et al., 2017; Ventura et al., 2014). Un fonctionnement optimal de ce réflexe est nécessaire durant la performance sportive (Kaufman et al., 2014). Par exemple, un joueur de hockey qui suit une rondelle du regard, alors qu'il effectue des changements de direction et des virages. Une atteinte à ce réflexe peut entraîner divers symptômes tels que des étourdissements, des vertiges, une vision floue et des troubles d'équilibre (Akin et al., 2017; Diaz, 2014). En outre, des difficultés à lire, à écrire, à se concentrer et à conduire peuvent également résulter d'un dysfonctionnement du VOR (Berger et al., 2016; Ciuffreda et al., 2007). **Il est estimé que jusqu'à 69 % des individus atteints d'une CC présentent des anomalies du réflexe oculovestibulaire** (Ellis et al., 2015, 2017; Master et al., 2016).

La convergence

La convergence est l'action par laquelle les yeux se déplacent simultanément et horizontalement vers le centre (mouvement d'adduction) qui permet la fusion binoculaire lorsqu'un objet est observé de près (Ventura et al., 2014). À titre d'exemple, un joueur de basketball qui regarde puis attrape un ballon qui se rapproche rapidement du visage. L'une des techniques les plus couramment utilisées pour évaluer la convergence consiste à approcher un objet, comme un crayon, vers le centre du nez du patient, on nomme ce test le point de convergence (PC) (Santo et al., 2020). Une personne présentant une convergence anormale percevra le crayon en double plus hâtivement que la normale (c'est-à-dire à une distance de plus de cinq centimètres du nez) ou l'examineur observera une exophorie, soit une déviation des yeux vers l'extérieur (Mucha et al., 2014; Ventura et al., 2014). **Il a été estimé que le PC serait anormal chez 46 % des athlètes**

atteint d'une CC (Alvarez et al., 2012). Cette anomalie peut se manifester par la difficulté à lire, la vision double ainsi que la fatigue oculaire (Convergence Insufficiency Treatment Trial Study Group, 2008).

L'accommodation

L'accommodation est la capacité aux pupilles à se contracter et à se relâcher individuellement afin de maintenir la fixation sur un objet à différente distance (Kaae et al., 2022; Ventura et al., 2014). Par exemple, un joueur de tennis qui alterne constamment son regard entre son adversaire en fond de terrain et la balle qui se rapproche. Après une CC, il est connu que l'amplitude d'accommodation peut être diminuée et qu'elle serait associée à la récupération prolongée (Capó-Aponte et al., 2012; Master et al., 2018). Un déficit au niveau de l'accommodation pourrait se traduire par certains symptômes tels qu'une fatigue oculaire, une vision floue, des nausées, des étourdissements et des maux de tête (Kaae et al., 2022). Enfin, chez les athlètes ayant subi une CC, **environ 25 % des adultes et 51 % des adolescents souffriraient d'anomalies au niveau de l'accommodation** (Dutta, 2023; Master et al., 2016).

1.2 Évaluation de la commotion cérébrale

1.2.1 Identification

Le groupe de travail sur le traumatisme craniocérébral léger de l'*American Congress of Rehabilitation Medicine* (ACRM) a récemment établi des critères diagnostiques du TCCL, applicables également à la CC (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023; Silverberg et al., 2023).

Les critères diagnostiques vont comme suit : l'athlète doit (1) avoir subi un mécanisme de blessure en lien avec la CC, (2) répondre à au moins un des critères suivants : (a) un ou plusieurs signes cliniques en lien avec la CC, ou (b) au moins deux symptômes aigus et un signe trouvé à l'examen clinique ou de laboratoire (Silverberg et al., 2023). Bien que l'imagerie par résonance magnétique structurelle ou la tomodensitométrie pourraient être anormale dans de rares cas de TCCL, ceci consiste un critère d'exclusion du diagnostic de la CC (Silverberg et al., 2023). En effet, la CC peut se distinguer du TCCL par l'absence de lésions visibles à l'imagerie structurelle

(Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). De plus, les signes cliniques ainsi que les symptômes ne doivent pas être expliqués uniquement par l'usage de drogue ou d'alcool, par l'usage de médicaments, par la présence d'autres blessures ou par la présence de comorbidité (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). Si la perte de conscience dure plus de 30 minutes, que le score sur l'échelle de Glasgow est inférieur à 13 après 30 minutes suivant un impact ayant le potentiel de causer une CC et que l'amnésie persiste au-delà de 24 heures, il ne s'agira plus d'une CC, mais plutôt d'un traumatisme craniocérébral plus sévère (Silverberg et al., 2023).

Dans certains cas, lorsque la présentation clinique est ambiguë et ne correspond pas complètement aux critères définis dans le paragraphe précédent, il est possible qu'une CC soit suspectée (Silverberg et al., 2023). Dans ce cas, l'athlète devrait être retiré du jeu et pris en charge de la même manière qu'un athlète ayant reçu un diagnostic de CC (Silverberg et al., 2023). Les critères permettant de suspecter une CC sont : (1) un mécanisme de blessure plausible en lien avec la CC, et (2) un ou plusieurs des trois critères suivants : (a) au moins deux symptômes aigus (b) au moins deux résultats positifs aux évaluations cliniques ou de laboratoire, ou (c) il n'est pas déterminé si les signes cliniques, les symptômes aigus et les résultats des examens cliniques ou de laboratoire sont attribuables à des facteurs confondants plutôt qu'à la CC (Silverberg et al., 2023).

Les outils présentés dans les sections suivantes permettront de dresser le portrait global de l'athlète commotionné et d'appliquer les critères diagnostiques précédemment décrits.

1.2.2 Consensus international

Depuis deux décennies, un groupe d'experts se réunit lors d'une conférence internationale (*International Conference on concussion in Sport*) tous les quatre à six ans afin d'établir les lignes directrices concernant la CC dans le sport. La toute première conférence a eu lieu en 2001 à Vienne et depuis, cinq autres éditions ont été tenues, la plus récente ayant eu lieu à Amsterdam en 2022 (Aubry et al., 2002; McCrory et al., 2005, 2009, 2017; Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). Leur démarche, basée sur un consensus d'experts, vise à réévaluer la littérature publiée depuis la dernière édition et à proposer des ajustements ou des améliorations quant à la

définition, les critères diagnostiques, l'évaluation, et la prise en charge de la CC en contexte sportif (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). Ce processus mène à la publication scientifique d'un document de référence actualisé (*Consensus Statement on Concussion in Sport*), accompagné d'outils cliniques pratiques développés par le groupe. Ces recommandations sont destinées aux médecins ainsi qu'à l'ensemble des professionnels de la santé évoluant dans un contexte athlétique, tels que les thérapeutes du sport et les physiothérapeutes, afin de les guider dans leur pratique (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023).

1.2.3 Outils d'évaluation

Le plus récent consensus d'expert en matière de CC dans le sport a mené à l'élaboration de divers outils d'évaluation de la CC (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). Leur conception repose sur l'analyse des données probantes actuelles, issues de revues systématiques de la littérature (Meeuwisse et al., 2017; Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). Ainsi, les outils d'évaluation proposés par ce groupe intègrent des instruments cliniques validés, regroupés sous forme de batterie de tests standardisée.

On peut diviser les outils en deux catégories : 1) l'évaluation aiguë de la CC, permettant de reconnaître la blessure et de retirer l'athlète de la pratique sportive et 2) l'évaluation clinique subaiguë de la CC, visant à établir un diagnostic ainsi qu'un pronostic efficace concernant cette blessure à la tête (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). Pour chacune de ces catégories, deux versions de l'outil existent et sont spécialement adaptées selon l'âge de la personne évaluée, soit : a) pour les enfants âgés entre 8 et 12 ans (childSCAT6 et childSCOAT6), et b) pour les individus âgés de 13 ans et plus (SCAT6 et SCOAT6) (Davis, Echemendia, et al., 2023; Davis, Patricios, et al., 2023; Echemendia, Brett, Broglio, Davis, Giza, Guskiewicz, Harmon, Herring, Howell, Master, Valovich McLeod, et al., 2023; Patricios, Davis, et al., 2023). Les prochaines sous-sections traiteront de ces outils plus en détail.

1.2.3.1 Outils d'évaluation aiguë des commotions cérébrales dans le sport (SCAT6 et childSCAT6)

Tel que mentionné précédemment, le *Sport Concussion Assessment Tool 6* (SCAT6) a été élaboré à la suite de la dernière conférence tenue à Amsterdam en 2022 (Echemendia, Brett, Broglio, Davis, Giza, Guskiewicz, Harmon, Herring, Howell, Master, McCrea, et al., 2023; Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). Il constitue une mise à jour de la version précédente, le SCAT5, mais ce nouvel outil contient des ajouts et des modifications aux sections déjà existantes. Cet outil a été conçu pour aider les professionnels de la santé à reconnaître efficacement la CC chez un athlète et à le retirer du jeu si nécessaire (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). Idéalement, le SCAT6 devrait être administré dans un délai de 0 à 72 heures après la CC, mais il demeure adéquat jusqu'à 7 jours suivant la blessure (Echemendia, Brett, Broglio, Davis, Giza, Guskiewicz, Harmon, Herring, Howell, Master, Valovich McLeod, et al., 2023). Le temps requis afin de compléter l'évaluation est d'environ 10 à 15 minutes (Echemendia, Brett, Broglio, Davis, Giza, Guskiewicz, Harmon, Herring, Howell, Master, Valovich McLeod, et al., 2023). Le SCAT6 comprend les sections suivantes :

A. Évaluation immédiate et neurologique :

1. Les signes visibles : observation directe ou par vidéo (rétroaction) des signes cliniques au moment de l'impact, tels que : immobilité, troubles de l'équilibre, regard vide, convulsions, etc.
2. L'échelle de Glasgow : évaluation de l'état de conscience de l'athlète à l'aide des réponses visuelles, verbales et motrices.
3. Évaluation de la colonne cervicale : vise à éliminer une blessure vertébrale plus grave.
4. Coordination et examen oculomoteur : permet d'identifier une atteinte neurologique nécessitant une attention particulière. La section comprend a) un test de coordination doigt-nez, b) un test oculomoteur correspondant à la poursuite visuelle (mouvements des yeux horizontaux et verticaux sans mouvement de la tête) et c) observation du mouvement général des yeux.
5. Questionnaire de Maddocks et évaluation de la mémoire : mesure l'orientation temporelle et la mémoire à moyen terme de l'athlète à l'aide de questions.

B. Évaluation sur les lignes de côtés :

1. Antécédents médicaux : permet de documenter l'historique de migraines, de troubles d'apprentissage, de trouble de déficit de l'attention, de dépression, d'anxiété, la prise de médication, etc.
2. Évaluation des symptômes : cotation de 22 symptômes sur une échelle de 0 à 6.
3. Examen cognitif : évalue trois domaines cognitifs, soit l'orientation, la mémoire immédiate ainsi que la concentration.
4. Examen de coordination et d'équilibre : comprends un test d'équilibre statique ainsi qu'un test de marche en tandem.
5. Mémoire différée : consiste à requestionner l'athlète sur une tâche réalisée plus tôt lors de l'évaluation.

Le ChildSCAT6, destiné au groupe d'âge de 8 à 12 ans, comporte les mêmes sections que le SCAT6, mais les termes et les instructions sont adaptés au niveau de compréhension de ce groupe d'âge (Davis, Echemendia, et al., 2023). D'ailleurs, la section concernant l'évaluation des symptômes inclut une grille supplémentaire permettant aux parents de coter à leur tour les symptômes observés chez l'enfant évalué (Davis, Echemendia, et al., 2023).

Il est primordial de souligner que, parmi ces outils d'évaluation immédiate de la CC, aucune évaluation complète du système visuelle n'est incluse. Les seules indications disponibles de problèmes visuels sont les symptômes autorapportés, tels que les étourdissements, la vision floue ou la sensibilité à la lumière, ainsi que l'observation des mouvements oculaires horizontaux et verticaux de la sous-section « Coordination et examen oculomoteur » (Echemendia, Brett, Broglio, Davis, Giza, Guskiewicz, Harmon, Herring, Howell, Master, McCrea, et al., 2023).

1.2.3.2 Outils d'évaluation clinique subaigüe des commotions cérébrales dans le sport (SCOAT6 et childSCOAT6))

Le *Sport Concussion Office Assessment Tool 6* (SCOAT6) et le childSCOAT6 sont également des produits du plus récent consensus international sur la CC dans le sport (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). Ces documents sont conçus pour évaluer les athlètes ayant subi une CC de

8 ans et plus dans un contexte clinique subaigu, soit entre 3 et 30 jours suivant la blessure (Patricios, Davis, et al., 2023). Ces derniers conservent la structure générale du SCAT6 et du childSCAT6, mais proposent des sections plus approfondies ainsi que de nouvelles composantes, dont certaines sont optionnelles selon le temps disponible et le jugement du clinicien. Parmi les nouvelles sections non optionnelles, on retrouve: la mesure des signes vitaux orthostatiques, l'évaluation de la colonne vertébrale (palpation et amplitude de mouvement cervical), l'examen des nerfs crâniens ainsi que le dépistage vestibulo-oculomoteur modifié (mVOMS) basé sur quatre des sept items du test original. Le tableau 2 illustre les différents items du test de dépistage vestibulo-oculomoteur (VOMS) original inclus dans le mVOMS. C'est la première fois que ce groupe d'experts élabore un outil spécifiquement destiné au dépistage clinique de la CC, mettant l'emphasis sur l'importance de la prise en charge à long terme de la CC.

Tableau 2. – Comparaison des items inclus dans le VOMS original et le VOMS modifié

Items du VOMS original	Items inclus (X) dans le VOMS modifié
Poursuite visuelle horizontale	X
Saccades horizontales	X
Saccades verticales	
Point de convergence	
Réflexe oculovestibulaire horizontal	X
Réflexe oculovestibulaire vertical	
Sensibilité visuelle au mouvement	X

1.3 Récupération de la commotion cérébrale

Bien que les outils d'évaluation de la CC servent à identifier la blessure et à mettre en évidence les dysfonctions qu'elle induit, ils permettent également de suivre la trajectoire de la récupération et d'identifier les facteurs pouvant la prolonger (Patricios, Schneider, Van Ierssel, et al., 2023).

1.3.1 Récupération normale

Majoritairement, les athlètes récupèrent dans un délai de 7 à 14 jours suivant une CC, mais ce chiffre peut s'étendre jusqu'à 1 mois après la blessure (McCrory et al., 2017; Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). Il est estimé que 80 % à 90 % des athlètes récupèrent à l'intérieur des deux premières semaines (Makdissi et al., 2010; McClincy et al., 2006; McCrea et al., 2009). Cependant, la population pédiatrique tend à récupérer plus lentement, environ 30 % des enfants et des adolescents se rétablissent au-delà de 14 jours (Purcell et al., 2016). La variabilité du temps de récupération peut être attribuée à certains facteurs préexistants, tels que le sexe biologique, l'âge, un historique de CC, un antécédent de migraines ainsi que la présence d'un trouble de l'attention avec ou sans hyperactivité (Chiang Colvin et al., 2009; Covassin et al., 2012; Elbin et al., 2013; Field et al., 2003; Kontos et al., 2013; Schatz et al., 2011). De plus, certains éléments de l'évaluation clinique initiale, tels que le score de symptômes, peuvent prédire l'orientation de la récupération (Corbin-Berrigan & Gagnon, 2017).

Pour favoriser une récupération optimale, le consensus international de la CC dans le sport propose un protocole de retour au jeu progressif en six étapes ainsi qu'un protocole de retour aux activités scolaires en quatre étapes (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). Dans les deux cas, un repos de 24 à 48 heures est recommandé comme phase initiale. Ensuite, les étapes se réalisent au minimum chaque 24 heures et sont dictées selon l'exacerbation des symptômes. Pour être autorisé à retourner au jeu, l'athlète devrait être asymptomatique, se sentir prêt sur le plan psychologique, et avoir retrouvé un niveau de conditionnement physique comparable à celui d'avant la blessure (Crofts et al., 2025; Patricios et al., 2023). Il est primordial qu'un athlète ayant subi une CC ne retourne pas au jeu s'il n'a pas complètement récupéré. En effet, un retour au jeu hâtif augmente le risque de subir une seconde CC, pouvant entraîner une récupération prolongée ou un risque accru de se blesser à une autre partie du corps (Gilbert et al., 2016; Herman et al., 2017; Lynall et al., 2015; McCrea et al., 2009, 2020). Dans de rares cas et majoritairement chez les individus pédiatriques, le syndrome du second impact peut être une conséquence fatale du retour au jeu prématuré (McLendon et al., 2016). En effet, ce phénomène survient lorsqu'un athlète reçoit un second coup à la tête (ou une force indirecte transmise au cerveau) alors qu'il

est toujours symptomatique de la CC initiale, déclenchant un œdème cérébral (Cantu, 1998). Afin d'éviter les complications, il est donc impératif d'identifier la CC rapidement et d'assurer une prise en charge adéquate à travers chacune des étapes du retour au sport.

1.3.2 Récupération prolongée

Dans certains cas, la récupération de la CC se prolongera au-delà de quatre semaines, on parlera alors de symptômes post-commotionnels persistants (PPCS), terminologie retenue par le plus récent consensus (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). D'autres appellations sont parfois utilisées pour qualifier ce phénomène, telles que la récupération atypique, la récupération prolongée, les symptômes post-commotionnels ou anciennement le « syndrome post-commotionnel ». À ce jour, il n'existe aucun critère diagnostique pour identifier de manière optimale cette condition. Les mêmes signes et symptômes présentés en phase aiguë de la CC peuvent persister en contexte de PPCS, mais leur présence serait plutôt attribuable à des facteurs biopsychosociaux qu'à des altérations physiologiques directes de la CC (Nielsen & Faulkner, 2025). Parmi les symptômes persistants, les étourdissements ainsi que les maux de tête, figurent au premier rang des manifestations les plus fréquemment rapportées en contexte de PPCS (Lau, Kontos, et al., 2011). Par ailleurs, les symptômes liés à la vision peuvent également être observés, tels que la sensibilité à la lumière, la vision floue et la difficulté à lire (Astafiev et al., 2016; Capó-Aponte et al., 2012).

La récupération atypique touche environ 6 % des athlètes collégiaux, et cette proportion peut atteindre 30 % dans les cohortes pédiatriques (Wasserman et al., 2016; Zemek et al., 2016). En plus des facteurs préexistants, tels que mentionnées dans la section 1.3.1, **la présence de symptômes visuels dans la phase aiguë post-CC pourrait être un indicateur de récupération atypique chez les athlètes** (Lau, Collins, et al., 2011; Master et al., 2018). De plus, il est estimé que **62 % des individus pédiatriques vivant avec des symptômes persistants avaient initialement des dysfonctions vestibulo-oculaires dans la phase aiguë de la CC** (Anzalone et al., 2017; Ellis et al., 2015).

Les symptômes post-commotionnels persistants peuvent avoir des impacts sur la qualité de vie des individus. En effet, il a été démontré que les enfants atteints de PPCS semblent être plus à risque de vivre avec des conditions de santé chronique, telles que des migraines, la dépression et l'anxiété (Leddy et al., 2010; Willer & Leddy, 2006). Enfin, une identification optimale et précoce des facteurs prédictifs de la récupération prolongée peut favoriser la prise en charge et le bien-être des athlètes.

Chapitre 2 – Problématique et objectifs

Tel qu'indiqué précédemment, la CC est une blessure qui touche une grande proportion de la population sportive. Sa forte prévalence, la diversité des affections cliniques et la possibilité d'une récupération atypique rendent sa prise en charge complexe. Parmi les signes et symptômes de la CC, les dysfonctions au niveau du système visuel affectent un grand nombre d'athlètes ayant subi une CC (Kontos et al., 2012). Plus spécifiquement, les mouvements oculaires tels que l'accommodation, la convergence, la saccade et le réflexe oculovestibulaire peuvent être altérés à la suite d'une CC (Ventura et al., 2014, 2015). Ces fonctions visuelles sont non seulement nécessaires dans les activités de la vie quotidienne, mais également impliquées dans les tâches sportives et sont donc cruciales pour la sécurité des athlètes. D'ailleurs, il est également suggéré que certains symptômes spécifiques à la CC peuvent être associés à ces processus du mouvement oculaire, tels que les étourdissements, la vision floue, la vision double, la photophobie, la difficulté à lire, la difficulté de concentration et la fatigue oculaire (Ledoux et al., 2019; Master et al., 2018, 2022; Pillai & Gittinger, 2017). De plus, certaines études suggèrent que la présence de certaines dysfonctions visuelles dans la phase aiguë de la CC pourrait permettre de prédire la trajectoire de la récupération de la CC (Anzalone et al., 2017; Ellis et al., 2015). Il est donc indispensable de détecter ces dysfonctions rapidement afin d'assurer une prise en charge adéquate de l'athlète blessé.

Les recommandations ancrées fondées sur les données probantes en termes de détection et de prise en charge aiguë de la CC mettent de l'avant l'évaluation multimodale des athlètes ayant subi une CC. Les outils offerts comprennent un vaste éventail de tests permettant aux professionnels de la santé impliqués dans le sport d'évaluer les symptômes, les déficits cognitifs, les troubles de l'équilibre, etc. en lien avec la CC (Echemendia, Brett, Broglio, Davis, Giza, Guskiewicz, Harmon, Herring, Howell, Master, McCrea, et al., 2023). Cependant, l'évaluation du système visuel est négligée de façon quasi complète dans ceux-ci. En effet, seulement les symptômes autorapportés associés au système visuel et la poursuite oculaire sont pris en compte, et ce, malgré les évidences

scientifiques suggérant que les fonctions du système visuel pourraient jouer un rôle important dans la présentation clinique de cette blessure à la tête.

De ce fait, une revue systématique de la littérature a été menée afin de répondre à la question suivante : quels outils d'évaluation du système visuel en contexte aigu de CC sont disponibles dans la littérature? Afin de répondre à cette question, deux objectifs ont été soulevés. L'objectif principal de ce projet de recherche est d'analyser les outils d'évaluation du système visuel disponibles dans la littérature en contexte aiguë (0 à 7 jours) de la CC chez la population sportive pédiatrique et adulte, tous sports et niveaux de compétition confondus, dans le but d'optimiser la détection et la prise en charge de cette blessure. L'objectif secondaire, de nature exploratoire, est d'identifier, lorsque disponibles, les données psychométriques de ces outils, telles que la spécificité et la sensibilité, afin d'évaluer leur valeur ajoutée à l'évaluation de la CC.

Chapitre 3 – Article scientifique: Visual Assessment Tools Used in Acute Sport-Related Concussion: A Systematic Review

Manuscrit en révision au *Journal of Athletic Training* (en date du 8 mai 2025)

Elizabeth Giguère-Lemieux¹⁻³, MSc, CAT(C), Alexandrine Paquin^{1,3}, BSc, Vladislav Bepomoshchnov⁴, MSc, Maxime Dessureault⁵, MSc, CAT(C), Jean Lemoyne^{3,5}, PhD, Laurie-Ann Corbin-Berrigan^{2,3,5*}, PhD, CAT(C)

¹Department of Anatomy, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, PQ, Canada

²Groupe de Recherche sur les Affections Neuromusculosquelettiques (GRAN), Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, PQ, Canada

³Laboratoire de recherche sur le hockey (SCORE), Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, PQ, Canada

⁴Norwegian School of Sport Sciences, Oslo, Norway

⁵Department of Human Kinetics, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, PQ, Canada

***Corresponding author**

Laurie-Ann Corbin-Berrigan

Groupe de Recherche sur les Affections Neuromusculosquelettiques (GRAN), Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, PQ, Canada

3351 blvd Des Forges, Trois-Rivières, PQ, G8Z 4M3, Canada

819 376-5011 #3786

laurie-ann.corbin-berrigan@uqtr.ca

Protocol registration

Our systematic review protocol was accepted on December 14th 2023 by PROSPERO (CRD42023487769). URL: <https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/view/CRD42023487769>

Contribution des auteurs

Elizabeth Giguère-Lemieux : conceptualisation et méthodologie du projet; recherche documentaire; sélection des articles; extraction des données; évaluation de la qualité des évidences; analyse et synthèse des résultats; rédaction du manuscrit.

Alexandrine Paquin : sélection des articles; extraction des données; évaluation de la qualité des évidences et relecture critique du manuscrit.

Vladislav Bepomoshnov : réviseur lors de la sélection des articles, de l'extraction des données et de l'évaluation de la qualité des évidences, et relecture critique du manuscrit.

Maxime Dessureault : sélection des articles et relecture critique du manuscrit.

Jean Lemoyne : supervision, relecture critique et approbation finale du manuscrit.

Laurie-Ann Corbin-Berrigan : supervision à toutes les étapes du projet; relecture critique et approbation finale du manuscrit.

3.1 Abstract

Objective: Analyze visual assessment tools available in the literature used in the context of acute sport-related concussion (SRC) in athletic population evaluation and identify their psychometric properties, when available.

Data Source: MEDLINE, Academic Search Complete, CINAHL, and SportDiscus, all via EBSCOhost.

Study Selection: Original research articles published in English or French between 2009 and 2023; occurring in sport context; involving adult and/or pediatric athletic populations; assessing visual system within 0 to 7 days post-SRC.

Data Extraction: Bibliographic information, study characteristics (objectives, design), population property (sample, age, sex, sport, level), visual assessment data (tools, assessment timepoints, visual performance, psychometric data) were extracted from included articles. Joanna Briggs Institute critical appraisal tools were used to assess quality of evidence.

Data Synthesis: From 1353 retrieved articles, 18 met inclusion criteria and were included in our review. Vestibular ocular motor screening (VOMS) was the visual assessment tool most studied and shows the potential to identify concussed athletes from various contact and non-contact sport, without predicting prolonged recovery. King-Devick test, (K-D) eye-tracking (ET) devices and Mobile Universal Lexicon Evaluation System (MULES) tool have limited findings due to a low number of articles addressing their implication in SRC. In general, study quality was good and reported a limited number of biases.

Conclusions: We recommend that health care professionals, such as athletic trainers, include VOMS in their concussion evaluation battery to develop a better profile of the concussed athlete, potentially assisting them in their diagnosis, and establishing a more effective rehabilitation plan related to visual deficits.

3.2 Introduction

Sport-related concussion (SRC) can be defined as a brain injury resulting from a direct or indirect blow to the head that transmits a force to the brain occurring in the context of sports or other types of physical activities (Patricios et al., 2023). This injury is quite common in active populations, being reported in both children and adults. In fact, its incidence was as high as 1/450 in physically active Canadians aged 12 or older in the year 2017-2018 (Gordon & Kuhle, 2022). A wide array of athletes will report having sustained at least one concussion, in their lifetime or sporting career, with numbers as high as 20% in adolescents, and 80% in varsity athletes (Delaney et al., 2002; Veliz et al., 2017). When a concussive injury occurs, the force transmitted to the brain will result in damage to the brain's axons, followed by a neurometabolic cascade and brain inflammation (Banks & Dominguez, 2019). Those rapid changes in the brain will lead to a large spectrum of signs and symptoms, which can be related to mental impairment or of emotional (sadness, anxiety, irritability), physical (headache, fatigue, balance problems, dizziness) or cognitive nature (memory deficits, difficulty concentrating) (Banks & Dominguez, 2019; Patricios et al., 2023; Silverberg et al., 2023). More precisely, visual complaints which fall into both physical or cognitive categories, such as blurred vision, acuity dysfunction, light sensitivity, reading difficulties, and eye fatigue are a quite common presentation of SRC (Akhand et al., 2019; Pillai & Gittinger, 2017; Ventura et al., 2014).

It is estimated that one third of athletes will report visual deficits in the acute phase of SRC (Kontos et al., 2012). It is believed that these deficits may be attributed to the fact that eye movement, which is essential for clear vision, object tracking and perception of depth, is regulated by frontal and parietal cortex, and that these cortexes make up for 50% of brain circuit (Kaas, 2008, 2017). Since all brain area are vulnerable to sport-related concussion, there is a significant risk for visual system impairment to emerge post-injury. The main aspects of eye movement that are at risk of dysfunction after a concussion are: (a) smooth pursuit (following a low-speed object with the eyes), (b) saccades (rapid movement of the gaze from one point to another), (c) vestibular ocular reflex (stabilizing vision by directing the eyes in the opposite direction of head movement), (d) convergence (coordinating movement of the eyes towards the center to merge nearby images),

and (e) accommodation (adjusting the focus of the eyes to see objects clearly at different distances) (Munoz et al., 2007; Ventura et al., 2014, 2015). These processes are essential for maintaining stable vision and accurate visual perception in everyday life, but most importantly in sport (Buscemi et al., 2024). As such, a vigorous assessment visual function in the acute phase of SRC is an important pillar to adequate clinical management, contributing to individualized rehabilitation plans, properly referrals, when needed, and safe return to play.

Despite growing evidence of the need for visual assessment post-SRC, little consensus exists on its use. In fact, in the context of SRC, world-renowned experts meet every 4 to 6 years to develop international consensus on the assessment and management of sports concussion (Consensus Statement in Concussion in Sport), providing measurement tools considering as gold standard for clinicians working in the field of SRC, such as the Sport Concussion Assessment Tool (SCAT-6) (Echemendia, Brett, Broglio, Davis, Giza, Guskiewicz, Harmon, Herring, Howell, Master, McCrea, et al., 2023; Patricios et al., 2023). The SCAT-6, which uses is suggested to be optimal within 0-72 hours up to one week post-SRC, consists of a multimodal evaluation including different SCR constructs that can be used to assist clinicians in identifying SCR and also track recovery (Echemendia, Brett, Broglio, Davis, Giza, Guskiewicz, Harmon, Herring, Howell, Master, McCrea, et al., 2023; Patricios et al., 2023). Measures such as level of consciousness, coordination, memory, symptoms, cognitive screening, and balance are (Echemendia, Brett, Broglio, Davis, Giza, Guskiewicz, Harmon, Herring, Howell, Master, McCrea, et al., 2023; Echemendia, Brett, Broglio, Davis, Giza, Guskiewicz, Harmon, Herring, Howell, Master, Valovich McLeod, et al., 2023). However, the last Consensus Statement in Concussion in Sport did not incorporate a comprehensive visual assessment in the acute multimodal evaluation (SCAT6), which may be attributable to a limited body of literature (Patricios et al., 2023). Only vision-related symptoms, and horizontal and vertical eye movements are assessed in the SCAT6, which is insufficient considering that eye movement involves greater complexity (Echemendia, Brett, Broglio, Davis, Giza, Guskiewicz, Harmon, Herring, Howell, Master, McCrea, et al., 2023).

As outlined above, concussion is a prevalent issue in athletics and previous studies report that visual dysfunction is a common by-product of SRC. These outcomes, however, are often completely or partially neglected from the clinical evaluation of SRC. Therefore, the primary objective of this systematic review was to analyze visual assessment tools available in the literature that have been used in the context of acute (< 7 days) sport-related concussion evaluation across athletic populations of all ages, sports and levels of competition. The secondary objective, of a more exploratory nature, was to identify psychometric properties, such as validity, reliability, specificity and sensitivity, of these tools when available.

3.3 Methods

3.3.1 Protocol

The systematic review was conducted according to the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines (Page et al., 2021). The research question intended to be investigated by the current review was initially verified in various systematic review databases, including Cochrane, Campbell Collaboration, PEDro, and Joanna Briggs Institute to ensure it has not already been addressed. The review protocol was then registered in PROSPERO and accepted on December 14, 2023 (CRD42023487769).

3.3.2 Eligibility criteria

Original, peer-reviewed, research articles published in a scientific journal between 2009 and December 2023, written in English or French, were eligible. Specific inclusion criteria related to the research question were as follows: 1) Occurring in a sports context, 2) involving adult and/or pediatric athletic populations, and 3) assessing the visual system (completely or partially) within 0 to 7 days after a sport-related concussion. Exclusion criteria were as follows: 1) non-English or French documents b) articles published before 2009, 2) abstracts; scientific posters; case studies; expert opinions; consensus statements; conference proceedings, 3) military and non-sport populations, 4) specific ophthalmological evaluations using tools or tests that are not accessible to other healthcare professionals, 5) preseason visual assessment or post-concussion syndrome (persistent symptoms), 6) visual evaluations using solely the Immediate Post-Concussion

Assessment and Cognitive Test (ImPACT) battery, 7) non-sport-related traumatic brain injuries and moderate to severe traumatic brain injuries. The definition of concussion was significantly redefined at the 3rd International Consensus on Concussion in Sport in 2008, which supports solely including article dating as far as 2009 (McCrory et al., 2009). Moreover, the ImPACT test battery was excluded as it primarily focuses on cognitive mechanisms that may involve the visual system in relation to concussion, rather than directly assessing deficits in the eyes themselves (Gaudet & Weyandt, 2017).

3.3.3 Information sources

The search strategy was designed by the research team and verified by a university librarian specializing in the field of human kinetics, and health sciences. It was launched in the following databases: Medline, CINAHL, Academic Search Complete, and SPORTDiscus via EbscoHost. Search strategies were performed in January 2024 by EGL.

3.3.4 Search strategy

The concepts used were a) concussion, b) sport, c) evaluation, and d) vision. Specific example of the search strategy used in the Medline database can be found in Supplementary file 1. Search results were imported into the Covidence platform for reference management, where duplicates were then removed (Veritas Health Innovation, 2024).

3.3.5 Selection process

After removing duplicates, titles and abstracts were read with a reviewer blinded approach, where eligibility was assessed in Covidence by two independent reviewers (EGL and MD). Disagreements between the reviewers were resolved by a third reviewer (VB). Agreement rate was established at 85%, which was deemed acceptable (McHugh, 2012). Similarly, full-text selection followed the exact same evaluation.

3.3.6 Data extraction

To ensure standardization of data extraction, we developed an extraction and quality assessment excel sheet (Microsoft Excel, version 16.100.1), to be used. The following data was extracted from the included articles that met eligibility criteria and was displayed in an *Excel* sheet: authors'

names, publication date, journal, study design, objectives, visual assessment tool, evaluation timepoints population, sample size, comparison group, biological sex, sport type, sport level, comorbidities, visual performance outcomes specific to the tool. Data extraction was performed by two separate researchers, EGL and AP. In case of discrepancies between data extracted, VB acted as a third-party moderator.

3.3.7 Risk of bias assessment

Critical appraisal tools provided by The Joanna Briggs Institute (JBI) were used to assess risk of bias among included articles (Joanna Briggs Institute, 2017). Tools were selected based on the study design of included research articles, where questions are rated as "yes" "no" "unclear" or "not applicable". Again, EGL and AP assessed each research article separately based on their design and VB acted as a third-party reviewer.

3.3.8 Data analysis

Due to the heterogeneity of research designs and study aims, and the low level of evidence, a narrative analysis was chosen. Results will be analyzed separately according to the visual assessment tool.

3.4 Results

3.4.1 Study selection

We retrieved 1353 articles from database searches and imported them into Covidence (see Figure 1 for PRISMA flow diagram) (Page et al., 2021; Veritas Health Innovation, 2024). After duplicates removal (n=595), 758 articles were screened according to eligibility criteria. Screening agreement between EGL and MD was 95.4%. Following this stage, 106 full text articles were then screened by EGL and AP where agreement rate was 95.3%. A total of 88 articles were excluded for the following reasons: using ImPACT exclusively for visual component (n=33), testing vision >7 days post-injury (n=28), published before 2008 (n=11), were not research articles (n=11), did not involve our target population (n=4), did not focus on our target intervention (n=1). At the end, 18 articles were included in this systematic review.

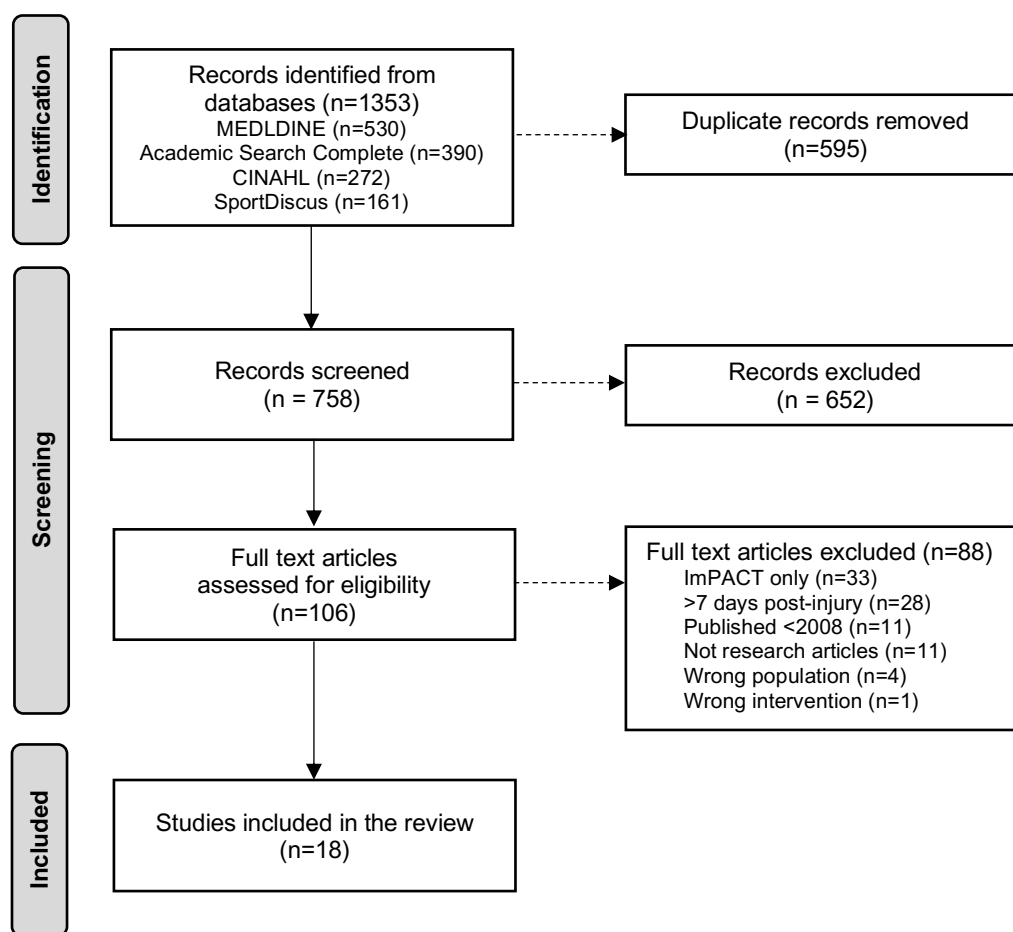


Figure 1. – PRISMA Flow Diagram

3.4.2 Study characteristics

Articles included in this review were published between 2011 and 2023, conducted in the United States (n=15), United Kingdom (n=1), Australia (n=1) and New Zealand (n=1). The following research designs were included: prospective cohort (n=10) (Elbin et al., 2018, 2022; Fallon et al., 2019; Ferris et al., 2022; Galetta et al., 2011; Glendon et al., 2021; Hecimovich et al., 2022; King et al., 2012; Sufrinko et al., 2017; Symons et al., 2023), retrospective cohort (n=2) (Teramoto et al., 2022; Worts et al., 2022), cross-sectional (n=4) (Murray et al., 2014, 2021; Tomczyk et al., 2021; Whitney et al., 2020), case control (n=1) (Kontos et al., 2021), and case series (n=1) (Knell et al., 2021). Within our included articles, different visual assessment tools were investigated: Vestibular ocular motor screening (VOMS) (n=11) (Elbin et al., 2018, 2022; Ferris et al., 2022;

Glendon et al., 2021; Knell et al., 2021; Kontos et al., 2021; Murray et al., 2021; Sufrinko et al., 2017; Teramoto et al., 2022; Tomczyk et al., 2021; Whitney et al., 2020), King-Devick (K-D) test (n=3) (Galetta et al., 2011; King et al., 2012; Symons et al., 2023), Mobile Universal Lexicon Evaluation System (MULES) (n=1) (Fallon et al., 2019), Monocular ASL Eye Tracking (n=1) (Murray et al., 2014), K-D test combined with VOMS (n=1) (Worts et al., 2022), and K-D test combined with eye tracking (ET) (n=1) (Hecimovich et al., 2022).

Total sample size ranged from 18 to 3444 participants ($\mu=428$), while a total of 2249 sport-related concussions were analyzed (range: 5–549). Of these, 42% (3025/7239) were female (range: 0–1889). Participants' mean age ranged from 15.3 to 26 years old and one study did not report the maximum age of its participants (Hecimovich et al., 2022).

Athletes represented in included articles came from a wide range of sports: football (American, Australian, and flag) (n=775), soccer (n=509), rugby (n=243), ice hockey (n=170), basketball (n=94), volleyball (field and beach) (n=52), cross country and track and field (n=48), softball (n=47), swimming (including diving and synchronized swimming) (n=37), lacrosse (n=24), wrestling (n=23), cheerleading (n=23), baseball (n=9) and other (n=401). Some studies did not specify the sport they studied (n=6) (Elbin et al., 2022; Ferris et al., 2022; Knell et al., 2021; Murray et al., 2014, 2021; Whitney et al., 2020). A vast representation of sport level was depicted in included articles ranging from amateur to professional level and high school to university level. Study characteristics are depicted in Tables 3, 4, 5, and 6.

Tableau 3. – Study Summary

Authors	Year of publication	Title	Country	Study design	Aim(s)
Vestibular ocular motor screening					
Elbin, R. J. et al.	2018	Prospective Changes in Vestibular and Ocular Motor Impairment After Concussion	United States	Prospective cohort	1. Document prospective changes in vestibular and ocular motor impairment and symptoms in high school athletes with SRC using both total and change scoring methods for the VOMS; 2. Compare the percentage of athletes scoring over clinical cutoffs prior to the athletic season and after SRC, using both total and change scoring methods for the VOMS.
Elbin, R. J. et al.	2022	Using change scores on the vestibular ocular motor screening (VOMS) tool to identify concussion in adolescents	United States	Prospective cohort	1. Develop clinical cutoffs for VOMS change scores to identify concussed adolescent athletes from a sample of uninjured controls; 2. Establish a clinical cutoff for an overall VOMS change score from the individual VOMS symptom items.
Ferris, L. M. et al.	2022	Utility of VOMS, SCAT3, and ImPACT Baseline Evaluations for Acute Concussion Identification in Collegiate Athletes	United States	Prospective cohort	1. Evaluate consecutive-year baseline test-retest reliability for components of VOMS, SCAT3, and ImPACT; 2. Explore possible effects of sex, premorbid medical history, and outlier data point on change score between baseline and post-injury performance.
Glendon, K., Blenkinsop, G., Belli, A., and Pain, M.	2021	Prospective study with specific Re-Assessment time points to determine time to recovery following a Sports-Related Concussion in university-aged student-athletes	United Kingdom	Prospective cohort	Establish when recovery of symptom burden, neurocognition, VOM function and academic ability occurs in university-aged student-athletes, by reassessing at specific reassessments time points following SRC.
Knell, G., Caze, T., and Burkhart, S. O.	2021	Evaluation of the vestibular and ocular motor screening (VOMS) as a prognostic tool for protracted recovery following pediatric sports-related concussion	United States	Prospective case series	1. Determine the association between recovery time and (A) symptom provocation across the various VOMS domains and (B) a positive test using various VOMS thresholds; 2. Determine the utility of VOMS as a prognostic tool to identify adolescents who will have a normal/protracted recovery from SRC.

Kontos, A. P. et al.	2021	Discriminative Validity of Vestibular Ocular Motor Screening in Identifying Concussion Among Collegiate Athletes	United States	Case-control	1. Determine the discriminative utility of VOMS items (eg, symptoms and item scores) and total VOMS score for identifying collegiate athletes with recent SRC (< 3 days) from healthy controls matched by age, sex, and concussion history; 2. Develop VOMS item and total VOMS clinical cutoff scores to identify concussion from healthy control in the current collegiate sample.
Murray, N. G. et al.	2021	Sport-related concussion adopt a more conservative approach to straight path walking and turning during tandem gait	United States	Cross-sectional	Evaluate the relationship between iTG and the VOMS symptom provocation score and NPC among those with SRC within 24-48 hours post-injury compared to uninjured control participants.
Sufrinko, A. M. et al.	2017	Using Acute Performance on a Comprehensive Neurocognitive, Vestibular, and Ocular Motor Assessment Battery to Predict Recovery Duration After Sport-Related Concussions	United States	Prospective cohort	Determine which acute vestibular, ocular motor, neurocognitive, and symptom impairments predicted SRC recovery.
Teramoto, M. et al.	2022	Sex Differences in Common Measures of Concussion in College Athletes	United States	Retrospective cohort	Advance the science surrounding female head injury and investigate sex-based differences in concussion assessments among male and female varsity college athletes.
Tomczyk, C. P. et al.	2021	Vestibular/Ocular Motor Screening Assessment Outcomes After Sport-Related Concussion in High School and Collegiate Athletes	United States	Cross-sectional	1. Compare vestibular and ocular motor impairments in high school and collegiate athletes within 72 hours of SRC; 2. Examine the distribution of impairments in these populations based on pre-established clinical cutoff scores.
Whitney, S. L. et al.	2020	Association of acute vestibular/ocular motor screening scores to prolonged recovery in collegiate athletes following sport-related concussion	United States	Cross-sectional	Determine if the presence of an abnormal VOMS score (≥ 2) was related to time until clearance for return to sport in collegiate athletes.
King-Devick test					
Galetta, K. M. et al.	2011	The King–Devick test and sports-related concussion: Study of a rapid visual screening tool in a collegiate cohort	United States	Prospective cohort	Determine the effect of concussion on K-D scores compared to a preseason baseline.
King D., Clark T., and Gissane C.	2012	Use of a rapid visual screening tool for the assessment of concussion in amateur rugby league: A pilot study	New Zealand	Prospective cohort (pilot)	Evaluate the use of the K-D sideline test alongside SCAT2 to identify concussions in amateur rugby league players over a representative competition period.

Symons, G. F. et al.	2023	Monitoring the acute and subacute recovery of cognitive ocular motor changes after a sports-related concussion	Australia	Prospective cohort	1. Investigate the ocular motor function in the concussed Australian rules football players longitudinally across 3 timepoints, 2, 6, and 13 days post-SRC relative to each player's individual baseline performance and whether sex difference in recovery are evident; 2. Compare OM recovery profiles to common clinical measures to determine whether concordance exists between the recovery profile of these assessment measures.
Other or combined visual tools					
Fallon, S. et al.	2019	MULES on the sidelines: A vision-based assessment tool for sports-related to concussion	United States	Prospective cohort	Quantify the magnitudes and directions of changes in MULES test time scores for youth, collegiate and professional athletes from preseason baseline testing to post-concussion sideline assessment.
Hecimovich, M. et al.	2022	Evaluation and utility of the King-Devick with integrated eye tracking as a diagnostic tool for sport-related concussion	United States	Prospective cohort	Investigate the diagnostic accuracy of the 120-Hz K-D ET system for clinical use in the recognition of SRC.
Murray, N. G. et al.	2014	Assessment of oculomotor control and balance post-concussion: A preliminary study for a novel approach to concussion management	United States	Cross-sectional	Measure differences in oculomotor control between athletes post-concussion and healthy controls during an active balance control task.
Worts, P. R. et al.	2022	Norm-Based Cutoffs as Predictors of Prolonged Recovery After Adolescent Sport-Related Concussion	United States	Retrospective cohort	Examine norm based extreme test scores from a multimodal battery to identify patients at greatest risk for PPCS and identify individual and combined factors of medical history, acute injury presentation, and management that predict prolonged recovery.

Abbreviations: ET: Eye Tracking; iTG: instrumented Tandem Gait; ImPACT: Immediate Post-Concussion Assessment and Cognitive Testing; K-D: King-Devick; MULES: Mobile Universal Lexicon Evaluation System; NCP: Near Point Convergence; PPCS: Persistent post-concussive symptom; SCAT: Sport Concussion Assessment Tool; SRC: sport-related concussion; VOMS: Vestibular Ocular Motor Screening

Tableau 4. – Data Extraction for Articles using VOMS as Visual Assessment Tool

Study	Assessment timepoints	Sample size (n)	Sex (f/m)	Age (mean ± SD)	Sport(s) (n)	Sport level	Visual performance	Psychometric data
Elbin, R. J. et al. (2018)	(1) Baseline (2) 1-7 days post-SRC (3) 8-14 days post-SRC	Total=63 Exposure=63	19/44	15.53±1.06	Football (42) Competitive cheer (8) Basketball (5) Soccer (4) Wrestling (4)	High School	—Significant higher symptoms score for all VOMS components at 1-7 days post-SRC than baseline ($p < .001$). NPC distance was significantly higher at 1-7 days post-SRC than baseline ($p < .001$). —The total scoring method identified significantly more athletes over cutoffs than the change scoring method at 1 to 7 days postinjury ($\chi^2 = 5.97$, $p = .02$).	NA
Elbin, R. J. et al. (2022)	<7 days post-SRC	Total=1150 Exposure=474 (147 SRC matched to 147 no SRC)	125/169	SRC= 15.53±1.43 CON= 15.19±1.15	NA	NA	—Between group (SRC and CON) differences were noted on individual change scores including smooth pursuit, horizontal saccades, vertical saccades, NPC symptoms, horizontal VOR, vertical VOR, and VMS components (p values $\leq .001$). —NPC distance was greater for the SRC than controls ($p = .01$)	—Overall VOMS change score of ≥ 3 identified individual in SRC group (AUC = .73, sensitivity=64%, specificity=74%, $p = .001$) —An average NPC distance of ≥ 3 cm identified individual in SRC group (AUC = .58, sensitivity=51%, specificity=74%, $p = .01$). —NPC distance ≥ 3 cm ($p = .001$), vertical VOR change score ≥ 1 ($p = .02$), and VMS change score ≥ 1 ($p < .001$) as the most significant predictors of concussion in this population (AUC = .76, $p < .001$)

Ferris, L. M. et al. (2022)	(1) Baseline (2) <48h post-SRC	Total=3444 Exposure=496	1889/2069	19.44±1.48	NA	NCAA division I, II and III	—Significant increase in VOMS total score post-SRC than baseline ($p < .01$). —Significant difference, but moderate to small clinical significance between baseline and post-SRC in mean NPC ($d < .46$). —Female had larger differences in performance between timepoints for all assessments.	VOMS total score identified concussed individuals (AUC = 0.85, sensitivity=77%, specificity=83%)
Glendon, K. et al. (2021)	(1) Baseline (2) <48h post-SRC (3) 4 days post-SRC (4) 8 days post-SRC (5) 14 days post-SRC	Total=140 Exposure=40 (42 SRC)	48/92	20.50±1.5	Rugby (140)	University	—Median change in VOMS score was significantly greater than the RCI (VOMS=2, NPC=5cm) at 2- (3.00 (0.00-20.50)), and 4-days (3.00 (0.00-12.25)), post-SRC (p's=0.000), but not at 8 days, indicating VOM recovery occurred by 8 days (0.00 (0.00-3.00)), $p = .000$, even if change in VOMS score was still significant up to 14 days post-SRC (0.00 (0.00-1.00)), $p = .015$). —Change in NPC distance was not greater than the RCI at any time point, but worse compared to baseline 2- and 4- days post-SRC (p values $< .005$)	NA

Knell, G. et al. (2021)	<7 days post-SRC	Total=549 Exposure=549	237/312	Range from 8-12 (n=152) and 13-18 (n=397)	Non-contact (68) Contact (220) Collision (216) Missing (45)	NA	—A symptom test threshold in any domains in VOMS ≥ 1 in males and a symptom test threshold in any domains in VOMS except NPC ranging from ≥ 1 to ≥ 5 in females is associated with a greater recovery ($p < .05$). An increase of 1 symptom in any VOMS test expand the recovery by 1.38 days in males and 1.73 days in females. —VOMS failed to predict protracted recovery (≥ 30 days) (males AUC = .56, females AUC = .66). —Depending on the symptom threshold, in males, sensitivity ranges from 44.1–93.2% and specificity ranges from 16.7–73.2%. In females, sensitivity ranges from 41.2–97.1% and specificity ranges from 9.9–60.3.
Kontos, A. P. et al. (2021)	<72h post-SRC	Total=570 Exposure=285	132/438	SRC= 19.2 $\pm$ 1.4 CON= 19.8 $\pm$ 1.2	Football (198) Cross country/track (43) Soccer (266) Swimming/diving (25) Basketball (19) Volleyball (19) Softball (32) All other sports (≥ 18)	Collegiate	NA —Each VOMS item significantly identified concussion over control (AUC = .90), with the exception of VMS (AUC=0.89) and NPC distance (AUC = .51). —Vertical saccades ≥ 1 ($p = .01$) and horizontal VOR ≥ 2 ($p = .01$) combined significantly discriminated concussion from control (AUC = .83, $p < .001$).
Murray, N. G. et al. (2021)	<24-48h post-SRC	Total=60 Exposure=30	40/20	SRC= 20 $\pm$ 1 CON= 21 $\pm$ 1	NA	NCAA division 1	—Significant difference on VOMS score between SRC group (11.1$\pm$11.2) and controls (0.18$\pm$.38) ($p < .001$), but no significant difference between groups in NPC score. —Strong correlation between VOMS score and gait time measures ($p < .05$). NA

Sufrinko, A. M. et al. (2017)	(1) 1-7 days post-SRC (2) Within 1st month post-SRC	Total=69 Exposure=69	18/51	15.3 ± 1.9	American football (29) Volleyball (5) Soccer (15) Ice hockey (13) Basketball (3) Martial Arts (2)	NA	—All VOMS scores were significant univariate predictors of a recovery time of 30-90 days and smooth pursuit were the strongest association (OR ¹¹ , 1.50 [95% CI ¹² , 1.19- 1.90]; p < .001). —Smooth pursuit (OR, 1.25 [95% CI, 1.02-1.55]), horizontal saccade (OR, 1.31 [95% CI, 1.06-1.62]) and vertical saccade (OR, 1.22 [95% CI, 1.011.47]) predicted recovery of 15-29 days (p values < .036).	NA
Teramoto, M. et al. (2022)	<24-72h post-SRC	Total=111 Exposure=111	52/59	19.4±1.2	Baseball (1) Basketball (9) Beach volleyball (4) Fencing (3) Field hockey (2) Football (28) Golf (1) Gymnastics (6) Lacrosse (6) Rowing (6) Sailing (5) Soccer (5) Softball (3) Swimming/diving (6) Synchronized swimming (1) Track and field (1) Volleyball (6) Water polo (8) Wrestling (10)	Division I college varsity	Only female athletes showed significant changes in the scores on smooth pursuit, horizontal saccades, vertical saccades (p values < .001) after injury, but no significant in the models without football players (p > .05).	NA

Tomczyk, C. P. et al. (2021)	<72h post-SRC	Total=110 Exposure=110	40/70	18.01±2.34	Basketball (12) Cheerleading (5) Crew (2) Field hockey (2) Football (40) Ice hockey (1) Lacrosse (6) Nontraditional (8) Rugby (4) Soccer (10) Softball (2) Swimming (3) Tennis (2) Track and field (4) Volleyball (2) Wrestling (7)	High School (47) Collegiate (63)	—More athletes whose symptom-provocation scores were greater than the clinical cutoff score (>2) for the horizontal VOR, vertical VOR, and VMS (p values < .001) VOMS components. —More athletes had symptom-provocation scores that were less than the clinical cutoff scores for smooth pursuits (p < .001) and average NPC distance (p = .01). —No difference for horizontal saccades, vertical saccades and NPC symptoms (p values > .35) A score ≥2 at any tests (VOMS) predicted a significantly greater mean days to clearance for return to play (13.1 days; 95% CI: 11.9–14.3; p = .025) compared with athletes with no abnormal test scores (9.6 days; 95% CI: 7.2–12.1, p = .014).	NA
Whitney, S. L. et al. (2020)	<48h post-SRC	Total=79 Exposure=79	24/55	19.1±1.3	Contact (54) Limited contact (11) Non-contact (3)	NCAA division 1 and II (76) Collegial (3)	A score ≥2 at any tests (VOMS) predicted a significantly greater mean days to clearance for return to play (13.1 days; 95% CI: 11.9–14.3; p = .025) compared with athletes with no abnormal test scores (9.6 days; 95% CI: 7.2–12.1, p = .014).	NA

Abbreviations: AUC: area under the curve; CI: confidence interval; CON: controls; NA: not applicable; NPC: near point convergence; OR: odds ratio; RCI: reliable change index; SRC: sport-related concussion; VMS: visual motion sensitivity; VOM: vestibular ocular motor; VOMS: vestibular ocular motor screening; VOR: vestibular ocular reflex.

Tableau 5. – Data Extraction for Articles using King-Devick as Visual Assessment Tool

Articles	Assessment timepoints	Sample size (n)	Sex (f/m)	Age (mean ± SD)	Sport(s) (n)	Sport level	Visual performance	Psychometric data
Galetta, K. M. et al. (2011)	(1) Baseline (2) Immediately post-SRC	Total=219 Exposure=10	37/182	20.3 ± 1.4	Varsity football (103) Sprint football (36) Soccer women (25) Soccer men (25) Basketball women (12) Basketball men (18)	Collegial	Significant worsening score in K-D post-SRC (median change=5.9 seconds) than baseline (p = .009).	NA
King D., Clark T. and Gissane C. (2012)	(1) Baseline (2) < 30min. post-SRC	Total=50 Exposure=5	0/50	22.4 ± 4.1	Rugby (50)	Amateur	—Significant worsening time in K-D post-SRC than baseline (p = .025) —Weak correlation between K-D and PCSS, but not significant (p = .065).	NA
Symons, G. F. et al. (2023)	(1) Baseline (2) 2 days post-SRC (3) 6 days post-SRC (4) 13 post-SRC	Total=139 Exposure=18	6/12	Male= 23 ± 5 Female= 26 ± 2	Australian rules Football (139)	Amateur	Significant improvement 2 to 6 days post-SRC in K-D time score (p = .02)	NA

Abbreviations: K-D: King-Devick test; NA: not applicable; PCSS: Post-concussion symptom scale; SRC: Sport-related concussion.

I

Tableau 6. – Data Extraction for Articles using Other or Combined Tool

Articles	Visual assessment tool	Assessment timepoints	Sample size (n)	Sex (f/m)	Age (mean ± SD)	Sport(s) (n)	Sport level	Visual performance	Psychometric data
Fallon, S. et al. (2019)	MULES	(1) Baseline (2) As soon as possible post-SRC on the sideline	Total=681 Exposure=17	258/423	17 ± 4	Ice hockey (156) Soccer (115) Football (74) Others (336)	Youth (280) Collegial (357) Professional (44)	Significant worsening score (MULES) post-SRC than baseline (p = .003).	NA
Hecimovich, M. et al. (2022)	K-D combined with ET	(1) Baseline (2) Following day post-SRC diagnosis (3) End of season	Total=49 Exposure=6 (8 SRC)	24/25	18-21 y.o (n=38) >22 y.o (n=11)	Rugby (49)	Collegiate	—No significant difference between group for completion time on K-D ET. —No difference between SRC and CON for ET outcome measures (saccade velocity; total saccades; fixation polyaera; fixation duration; total fixation).	—K-D completion time have a high specificity (86%), but insufficient sensitivity (40%) to diagnosed concussion. —None of the ET outcome measures can diagnosed concussion because of insufficient specificity (range from 25–57%), and sensitivity (range from 33–67%).

Murray, N. G. et al. (2014)	Monocular ASL Eye Tracking	48-72h post-SRC	Total=18 Exposure=9	5/13	SRC= 16 ± 3.03 CON= 24.3 ± 7.5	NA	NA	—Significant greater number of gaze deviations from center for SRC group compared to NC group ($p < .001$). —Significant negative correlation between % time on center and soccer game score in SRC group ($r = -0.846$, $p = .004$) and significant positive correlation in NC group ($r = -0.792$, $p = 0.011$)	NA
Worts, P. R. et al. (2022)	VOMS and K-D (paper)	<7 days post-SRC	Total=201 Exposure=201	71/130	15.3 ± 1.4	Football (82) Soccer (44) Volleyball (16) Basketball (16) Cheerleading (10) Softball (10) Lacrosse (12) Baseball (8) Flag football (4) Wrestling (1%) Swimming and diving (1%)	NA	—Prolonged recovery group performed slower on K-D total time ($p < .001$) and had higher symptom provocation for smooth pursuits and horizontal and vertical saccades on VOMS (p values $< .039$). —Smooth pursuits, horizontal saccades, NCP and VMS symptom provocation and K-D total time were positively associated with prolonged recovery.	NA

Abbreviations: ASL: Applied Science Laboratories; CON: controls; ET: eye tracking; K-D: King-Devick test; MULES: Mobile Universal Lexicon Evaluation System; NA: not applicable; NC: non-concussion; SRC: sport-related concussion.

3.4.3 Risk of bias

We assessed risk of bias through critical appraisal tools offered by JBI (see Tables 7 to 10) (Joanna Briggs Institute, 2017). Different checklists were used according to study designs (see Supplementary files 2 to 5 for assessment questions based on design). Agreement rate between the two reviewers (EGL and AP) was 72%. In general, the quality of studies was acceptable and included a limited amount of bias. General strengths from articles, regardless of study design, were similarity between groups, adequate statistical analyses and the use of valid outcome measures. Overall, the key challenges amongst included studies were to report how confounding factors were dealt with, the lack of description about follow-up and strategies to manage losses to follow-up.

3.4.3.1 Vestibular ocular motor screening

In articles using VOMS (n=11) (Elbin et al., 2018, 2022; Ferris et al., 2022; Glendon et al., 2021; Knell et al., 2021; Kontos et al., 2021; Murray et al., 2021; Sufrinko et al., 2017; Teramoto et al., 2022; Tomczyk et al., 2021; Whitney et al., 2020), two articles demonstrated a perfect score (Elbin et al., 2022; Knell et al., 2021), while nine reported missing or unclear information (Elbin et al., 2018; Fallon et al., 2019; Ferris et al., 2022; Galetta et al., 2011; Hecimovich et al., 2022; Teramoto et al., 2022; Tomczyk et al., 2021; Whitney et al., 2020; Worts et al., 2022). When looking at individual study designs, in cohort studies (n=6) (Elbin et al., 2018; Fallon et al., 2019; Ferris et al., 2022; Galetta et al., 2011; Hecimovich et al., 2022; Symons et al., 2023), the most frequent reported bias, was the lack of strategies for confounding factors and the omissions of description about the follow-up. For cross-sectional studies (n=3) (Teramoto et al., 2022; Whitney et al., 2020; Worts et al., 2022), and case-control study (n=1) (Kontos et al., 2021), the main limitation was also regarding confounding factors.

3.4.3.2 King-Devick test

Articles using K-D (n=3) were all cohort studies and reported missing or unclear information, such as the absence of strategies for confounding factors and for incomplete follow-up (Galetta et al., 2011; King et al., 2012; Symons et al., 2023).

3.4.3.3 Other or combined tools

In articles using combined or other visual tools (n=4) (Fallon et al., 2019; Hecimovich et al., 2022; Murray et al., 2021; Worts et al., 2022), one article demonstrated a perfect score (Worts et al., 2022), while three reported missing or unclear information (Fallon et al., 2019; Hecimovich et al., 2022; Worts et al., 2022). Those three articles all shared the same design (cohort), and the major concern was the absence description and strategies for confounding factors and for incomplete follow-up.

Tableau 7. – Risk of Bias Assessment using JBI Tools (Cohort Study)

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	
Vestibular ocular motor screening												Yes
Elbin, R. J. et al. (2018)	Unclear				No							No
Elbin, R. J. et al. (2022)												Unclear
Ferris, L. M. et al. (2022)									No	No		No
Glendon, K. et al. (2021)					No							Unclear
Sufrinko, A. M. et al. (2017)									No	No		No
Teramoto M. et al. (2022)				No	No	N/A			Unclear			N/A
King-Devick												
Galetta, K. M. et al. (2011)			No	No	No					Unclear		
King, D., Clark, T., Gissane, C. (2012)					No				No	No		No
Symons, G.F. et al. (2023)										Unclear		
Other or combined tools												
Fallon, S. et al. (2019)				No	No				No	No		No
Hecimovich, M. et al. (2022)				No	No					No		No
Worts, P. R. et al. (2022)						N/A			Unclear			N/A

Tableau 8. – Risk of Bias Assessment using JBI Tools (Cross-Sectional Study)

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	
Vestibular ocular motor screening									
Whitney, S. L. et al. (2020)	No			No		No			
Murray, N.G. et al. (2021)					No	No			
Tomczyk, C. O. et al. (2021)						No			
Other or combined tool									
Murray, N. G. et al (2014)									

Yes

No

Unclear

N/A Not applicable

Tableau 9. – Risk of Bias Assessment using JBI Tools (Case-Control Study)

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	
Vestibular ocular motor screening											
Kontos, A. P. et al. (2021)							No		Unclear		

Yes

No

Unclear

N/A Not applicable

Tableau 10. – Risk of Bias Assessment using JBI Tools (Case Series Study)

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	
Vestibular ocular motor screening											
Knell, G., et al. (2021)											

Yes

No

Unclear

N/A Not applicable

3.4.4 Results

3.4.4.1 Vestibular ocular motor screening

From our included articles, 12 studied VOMS (11 studied VOMS solely (Elbin et al., 2018, 2022; Ferris et al., 2022; Glendon et al., 2021; Knell et al., 2021; Kontos et al., 2021; Murray et al., 2021;

Sufrinko et al., 2017; Teramoto et al., 2022; Tomczyk et al., 2021; Whitney et al., 2020), 1 studied VOMS combined with K-D (Worts et al., 2022). A VOMS assessment consists of 7 components: 1) smooth pursuit, 2) horizontal saccades, 3) vertical saccades, 4) horizontal vestibular ocular reflex (VOR), 5) vertical VOR, 6) vestibular motor speed (VMS) and 7) near point convergence (NPC) distance. Patients reported symptoms (headache, dizziness, nausea and foginess) after each item of the test, and rated them on 10. As per establish guidelines, a total symptom score in any VOMS component ≥ 2 and an NPC measure ≥ 5 cm could be identified as a concussed individual (Mucha et al., 2014).

Recovery processes

When specifically looking at vestibular ocular recovery in the context of SRC, Glendon and colleagues (2021) suggested that function recovery occurs at 8 days, as VOMS scores were higher than the Reliable Change Index (RCI) (VOMS score=2) at 2 and 4 days, but not at 8 days in rugby student-athletes. However, other included studies suggested that a positive score on VOMS in the acute phase of SRC can anticipate a lengthy recovery process. Indeed, Sufrinko and colleagues (2017) suggested that a higher score in any VOMS items, particularly smooth pursuit, can be a predictor of prolonged concussion recovery time in pediatrics athletes, which was defined as recovery lasting between 30-90 days. Whitney and colleagues (2020) pointed out that a score ≥ 2 , in any VOMS component, predicted a longer time before return to play clearance in NCAA athletes. These results are also supported by the work of Worts and colleagues (2022) which suggests that smooth pursuit, horizontal saccades, NPC and VMS symptoms provocation are positively associated with prolonged recovery (Odds ratio between 1.533 – 2.274). When digging deeper into prolonged recovery, Knell and colleagues (2021) analyzed VOMS performance in pediatrics based on biological sex. Their results indicated that test threshold scores of ≥ 1 in VOMS were significant predictors of longer recovery time in males, and that an increase of 1 or more symptom after any test of the VOMS would increase the expected recovery by 1.38 days (Knell et al., 2021). Similarly, on the female hand-side a test threshold scores between ≥ 1 and ≥ 5 was associated with a longer recovery in female, and that an increase of 1 or more symptom after any test of the VOMS would increase the expected recovery by 1.73 days (Knell et al., 2021).

Clinical cutoffs

The study by Elbin and colleagues (2018) allowed to identify more concussed athletes by using clinical cutoffs (≥ 2 symptoms on any VOMS components and/or NPC distance ≥ 5 cm) than when using the change scoring method (difference between total symptoms on VOMS post- and pre-test) between 1 and 7 days post-SRC. Similarly, Tomczyk and colleagues (2021) reported that concussed athletes scored higher than clinical cutoffs, but only on horizontal VOR, vertical VOR and VMS components, while they scored lower on smooth pursuit and NPC distance.

Other results

Two studies both demonstrated that when performing VOMS in the acute phase post-SRC, VOMS total scores are higher on SRC group versus uninjured controls in adolescent and collegiate athletes (Elbin et al., 2022; Murray et al., 2021). In addition, it was also suggested that VOMS total scores are higher post-SRC (acute phase) than baseline in high school and NCAA athletes, whereas NPC distance was significantly higher post-SRC in NCAA athletes when comparing to pre-injury scores (Elbin et al., 2018; Ferris et al., 2022). However, Ferris and colleagues (2022) mentioned that despite being statistically significant, these changes in NPC scores had moderate to small clinical significance. Furthermore, the latter demonstrated that females had higher symptom provocation than males between timepoints in VOMS, while Teramoto and colleagues (2022) showed that in college varsity athletes, only concussed female had significant changes in smooth pursuit, horizontal and vertical saccades scores after injury versus concussed males.

Psychometrics data

Elbin and colleagues (2022) presented several VOMS cutoffs score capable of predicting concussed athletes, which are: overall VOMS score ≥ 3 (sensitivity = 64%, specificity = 74%); NPC distance ≥ 3 cm (sensitivity = 51%, specificity = 74%); and a three-factor model including that exhibited moderate accuracy (AUC = 0.76) consisting of the combination of: 1) NPC distance ≥ 3 cm, 2) vertical VOR change score ≥ 1 , and 3) VMS change score ≥ 1 . These findings are supported by Ferris and colleagues (2022) suggesting that when comparing VOMS total score to concussion identification batteries (SCAT3 and ImPACT), the former had the highest predictive utility for identifying concussion. Findings by Kontos and colleagues (2021) partially agree with these

findings, suggesting that each individual VOMS component, except for VMS and NPC distance, successfully identified concussed collegiate athletes over healthy controls. Finally, Knell and colleagues (2021) studied VOMS' validity in identifying protracted or prolonged recovery (defined as >30 days) in pediatrics by looking at the effects of use of threshold (depending on the symptom threshold (≥ 1 to ≥ 10)). In general, sensitivity is inversely associated to symptom scores, whereas specificity tends to increase alongside symptom increase. However, when looking at the predictive ability of VOMS, it has been suggested that it may not be a valuable prognostic tool when used independently (Knell et al., 2021).

3.4.4.2 King-Devick test

Among our included articles, 5 articles studied K-D (3 studied K-D solely (Galetta et al., 2011; King et al., 2012; Symons et al., 2023), 1 combined K-D and VOMS (Worts et al., 2022), 1 combined K-D and an eye tracking device (Hecimovich et al., 2022)). King-Devick test involves reading out loud a series of number as fast as possible without making any errors; time and number of errors are recorded (Galetta et al., 2016).

Score difference between SRC group and baseline or non-SRC group

Two studies indicated that K-D score is altered in the event of SRC. Indeed, when comparing post-SRC K-D scores to pre-injury values, K-D time scores are slower (Galetta et al., 2011; King et al., 2012). In contrast, Hecimovich and colleagues (2022) did not report such differences when comparing concussed and non-concussed group in similar groups of individuals.

Recovery processes

When looking at K-D scores recovery trajectory after SRC, it is suggested by Symons and colleagues (2023) that significant improvements in time can be noted between 2 and 6 days post-injury. With regards to time recovery, Worts and colleagues (2022) showed that the experimental group of individuals with prolonged recovery exhibited significantly slower time to complete the test measurements than the group consisting of individuals with typical recovery post-SRC.

Psychometric data

Hecimovich and colleagues (2022) which studied VOMS in collegiate rugby at three distinct timepoints (baseline; post-SRC and end of season) indicated that K-D time score have a great specificity (86%) to diagnose concussion in collegiate athletes but have a poor sensitivity (40%).

3.4.4.3 Other tools

Eye tracking devices

From our included articles, 2 articles studied an eye tracking (ET) device (1 combined ET and K-D (Hecimovich et al., 2022) and 1 combined ET and soccer game task on Wii Fit (Murray et al., 2021)). Hecimovich and colleagues (2022) used an infrared-based video-oculographic rig fixated on a computer (120-Hz VT3-Mini; EyeTech Digital Systems) and tracked eye movement while the participants performed the K-D test. Total fixation, total saccades, average saccade velocity, blinks, saccade latency, fixation duration and fixation polyarea were analyzed (Hecimovich et al., 2022). Murray and colleagues (2014) used monocular ASL Eye Tracking system (model H6, Applied Science Laboratories, Bedford, MA). The system captures gaze deviations and percentage time on center, based on the left eye.

Hecimovich and colleagues (2022) showed no difference in eye tracking outcomes measures between post-SRC and controls in rugby collegiate athletes and denote that none of these can diagnosed concussion because of insufficient specificity and sensitivity.

Murray and colleagues (2014) illustrated that SRC group had a significantly greater number of gaze deviations from center compared to non-concussed group in adolescent and young adult athletes. In addition, they found a high negative correlation between percent time on center and soccer game (WiiFit) score on SRC group (soccer game score decreased as the percent time on center increased) while the correlation was positive for non-concussed group (Murray et al., 2014).

Mobile Universal Lexicon Evaluation System

Fallon and colleagues (2019) studied the MULES, which consists of naming out loud 54 pictures of fruits, objects and animals being presented on a laminated sheet. They found a significant

worsening of MULES time score post-SRC compared to baseline in a multi-sport, multi-level group of athletes (Fallon et al., 2019).

3.5 Discussion

The main objective of this systematic review was to analyze visual assessment tools in the context of acute phase (< 7 days) of sport-related concussion in athletic populations. A total of 1353 articles were retrieved from four distinct databases: 18 were included in this review (Elbin et al., 2018, 2022; Fallon et al., 2019; Ferris et al., 2022; Galetta et al., 2011; Glendon et al., 2021; Hecimovich et al., 2022; King et al., 2012; Knell et al., 2021; Kontos et al., 2021; Murray et al., 2014, 2021; Sufrinko et al., 2017; Symons et al., 2023; Teramoto et al., 2022; Tomczyk et al., 2021; Whitney et al., 2020; Worts et al., 2022). Amongst articles, VOMS was the visual assessment tool that was most frequently studied. It was suggested from 4 articles that a higher symptom provocation score in VOMS could predict longer return to play and a prolonged recovery (more than 30 days) in athletes (Knell et al., 2021; Sufrinko et al., 2017; Whitney et al., 2020; Worts et al., 2022), these results align with previous systematic review that suggested a positive VOMS appears to predict prolonged recovery in concussed patients (Barnhart et al., 2024). However, these results contrast those of Glendon and colleagues (2021) which suggested that impairments in vestibular ocular motor function, measured through VOMS, should resolve by 8 days post-SRC, in a small sample of adult rugby athletes. In addition, our results showed that concussed athletes exhibited higher VOMS score in the acute phase post-SRC than healthy population, and those scores may be well over clinical cutoffs scores (Elbin et al., 2022; Murray et al., 2021; Tomczyk et al., 2021). Those findings are supported by a review from Kaae and colleagues (2022), in individuals post-concussion compared to healthy controls, with similar results with regards to clinical cutoffs. Following similar literature trends in the context of SRC, our review suggests that both biological sexes may behave differently on the task, with females exhibiting more significant changes in VOMS than their male counterpart (Ferris et al., 2022; Teramoto et al., 2022). This phenomenon could be explained by the discrepancies in symptoms reporting across sexes, where female report more symptoms than males after SRC, and seems to report more symptoms related to vision, such as sensitivity to light and dizziness (Bunt et al., 2022; Henry et al., 2016).

The second most frequently used tool in the context of visual assessment in acute SRC was the K-D test. Mixed results were presented by our review (Galetta et al., 2011; Hecimovich et al., 2022; King et al., 2012), but the majority align with available literature suggesting that concussed athletes perform slower in K-D score (with regards to time to complete) than when compared to their baseline scores (Galetta et al., 2016; Zoe Marinides et al., 2015). Furthermore, one research groups included in this review propose an association with prolonged recovery and slower time in K-D (Worts et al., 2022). Those conclusions are in line with a previous study, suggesting that a slower time in K-D between 0 to 2 days after injury is associated with a longer return-to-play (Whelan et al., 2022). In repeated assessments, our findings suggest an improvement in K-D time between 2 and 6 days after SRC in adult athletes (Symons et al., 2023), a process consistent with concussion recovery timelines (McCrory et al., 2017). However, it is unclear whether this improvement is attributed to learning effects of the task or natural recovery (Gunasekaran et al., 2020). Limited evidence on eye tracking devices was available, with solely two articles identified through this systematic review. Our findings suggest mixed results, where one article reported no significant results between post-SRC group and controls when looking at eye movements during a K-D task (Hecimovich et al., 2022), while the second article illustrated significant difference in gaze deviations from center between similar groups (Murray et al., 2014). These last results may in part be explained by a vestibular ocular reflex disruption which can causes blurred vision, balance disorder or dizziness (Crampton et al., 2021). At last, the only article that studied MULES (Fallon et al., 2019), reported a significant worsening score, measured in time, between post-SRC than baseline. Parallels from our findings to existing literature are limited on this tool due to its relatively recent emergence (Cobbs et al., 2017).

The secondary objective of this systematic review was to identify psychometric qualities of included visual assessment tools, when available. Among our included articles, 4 articles provided psychometric data for VOMS (Elbin et al., 2022; Ferris et al., 2022; Knell et al., 2021; Kontos et al., 2021) and 1 for K-D test combined with ET device (Hecimovich et al., 2022). Results from our review suggest that VOMS is sensitive to concussion, having the capacity to identify concussed athletes in the acute phase following their injury (Elbin et al., 2022; Ferris et al., 2022; Kontos et

al., 2021). Furthermore, it is even suggested that new clinical cutoffs may better the sensitivity of the assessment (Elbin et al., 2022). Indeed, an overall VOMS score ≥ 3 or a combination of three precise cutoffs values is suggested: 1) NPC distance ≥ 3 cm, 2) vertical VOR change score ≥ 1 , and 3) VMS change score ≥ 1 (Elbin et al., 2022). In addition, results from our study fail to predict prolonged recovery despite suggesting adequate sensitivity in identifying SRC (Knell et al., 2021). Finally, our findings reported that K-D failed to diagnose concussion (Hecimovich et al., 2022), which is in contrast to the meta-analysis published by Galetta and colleagues (2016), proposing that K-D test have a high sensitivity and specificity to recognized concussed athletes from controls.

3.5.1 Clinical application

Evidence from this systematic review support the idea that there may also be an added value of visual assessment tools in acute SRC test batteries. Indeed, health care professionals, such as athletic trainers, physical therapists, and other professionals involved in sport, may enhance their clinical practice by including a visual assessment tool like VOMS in their battery when assessing concussed athletes within the first seven days post-injury. As such, it should however be noted that while VOMS can aid in concussion diagnosis, it does not replace a multimodal evaluation, as every component, such as symptoms, memory, concentration, balance, etc., is crucial when assessing an athlete with a potential concussion (Patricios et al., 2023). Even though this test could extend the acute evaluation in terms of time, VOMS can provide additional information about deficits or dysfunctions that could provide insightful information to clinicians and should be consider in concussion rehabilitation, particularly in a sport context. As such, it is reasonable to believe that VOMS, or other objective measure of visual performance if deemed valid, should be included in the multimodal assessment of acute SRC.

3.5.2 Recommendations for future research

A few key points with the potential to benefit future research have been highlighted through our systematic review. First, about a fifth of included studies came from the same group of researchers, suggesting potential over representation of certain populations in our review. Hence, reproducing these studies' methodologies in different populations and contexts may

contribute to enhancing the applicability of results. Our study identified various discrepancies such as sex, athletic status, and age, with regards to visual assessment of concussion. To allow for better identification and care of SRC, these discrepancies should be further studied. As such, sex differences were noted in limited studies, as solely two articles conducted sex-based analysis, despite being currently widely recognized that biological sex plays a crucial role in concussion. Future studies should continue addressing these potential disparities. Furthermore, when considering VOMS' clinical cutoff scores, concussed athletes appear to score above the current clinical cutoffs established: one article proposed the use of new cutoffs to increase diagnostic accuracy. We recommend that future research further examine these proposed cutoffs within the athletic populations to allow for necessary adjustments, if needs be. With regards to age differences, future studies should investigate the use of K-D test in the pediatrics population, as a mean to establish whether or not the pediatric literature matches the adult's. Ultimately, more data are needed on eye tracking devices and MULES tool to draw stronger conclusions regarding their effectiveness.

3.6 Conclusion

Our systematic review suggests that VOMS can identify concussed athletes in the acute phase of SRC but does not predict prolonged recovery. It may be beneficial for health care professionals to include this tool in their multimodal concussion evaluation battery. More data are needed for K-D, ET and MULES to establish their role in assessing concussed athletes.

3.7 References

- Akhand, O., Balcer, L. J., & Galetta, S. L. (2019). Assessment of vision in concussion. *Current Opinion in Neurology*, 32(1), 68-74. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000654>
- Banks, R. E., & Dominguez, D. C. (2019). Neurometabolic Aspects of Sports-Related Concussion. *Semin Speech Lang*, 35, 159-165. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1679887>
- Barnhart, M., McLeod, T. V., & Bay, R. C. (2024). The Ability of Vestibular and Oculomotor Screenings to Predict Recovery in Patients After Concussion : A Systematic Review of the Literature. *Journal of Athletic Training*, 59(1), 49-65. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0429.22>
- Bunt, S. C., Didehbani, N., LoBue, C., Stokes, M., Heinzelmann, M., Rossetti, H., Miller, S. M., Nakonezny, P. A., Bell, K., Batjer, H., & Cullum, C. M. (2022). Sex differences in reporting of concussion symptoms in adults. *The Clinical Neuropsychologist*, 36(6), 1290-1303. <https://doi.org/10.1080/13854046.2020.1842500>
- Buscemi, A., Mondelli, F., Biagini, I., Gueli, S., D'Agostino, A., & Coco, M. (2024). Role of Sport Vision in Performance : Systematic Review. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 9(2), 92. <https://doi.org/10.3390/jfmk9020092>
- Cobbs, L., Hasanaj, L., Amorapanth, P., Rizzo, J.-R., Nolan, R., Serrano, L., Raynowska, J., Rucker, J. C., Jordan, B. D., Galetta, S. L., & Balcer, L. J. (2017). Mobile Universal Lexicon Evaluation System (MULES) test : A new measure of rapid picture naming for concussion. *Journal of the Neurological Sciences*, 372, 393-398. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2016.10.044>
- Crampton, A., Teel, E., Chevignard, M., & Gagnon, I. (2021). Vestibular-ocular reflex dysfunction following mild traumatic brain injury : A narrative review. *Neurochirurgie*, 67(3), 231-237. <https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2021.01.002>
- Delaney, J. S., Lacroix, V. J., Leclerc, S., & Johnston, K. M. (2002). Concussions Among University Football and Soccer Players: *Clinical Journal of Sport Medicine*, 12(6), 331-338. <https://doi.org/10.1097/00042752-200211000-00003>
- Echemendia, R. J., Brett, B. L., Broglio, S., Davis, G. A., Giza, C. C., Guskiewicz, K. M., Harmon, K. G., Herring, S., Howell, D. R., Master, C. L., Valovich McLeod, T. C., McCrea, M., Naidu, D.,

- Patricios, J., Putukian, M., Walton, S. R., Schneider, K. J., Burma, J. S., & Bruce, J. M. (2023). Introducing the Sport Concussion Assessment Tool 6 (SCAT6). *British Journal of Sports Medicine*, 57(11), 619-621. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106849>
- Echemendia, R. J., Brett, B. L., Broglio, S., Davis, G. A., Giza, C. C., Guskiewicz, K. M., Harmon, K. G., Herring, S., Howell, D. R., Master, C., McCrea, M., Naidu, D., Patricios, J. S., Putukian, M., Walton, S. R., Schneider, K. J., Burma, J. S., & Bruce, J. M. (2023). Sport Concussion Assessment Tool 6 (SCAT6). *British Journal of Sports Medicine*, 57(11), 622-631. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-107036>
- Elbin, R. J., Eagle, S. R., Marchetti, G. F., Anderson, M., Schatz, P., Womble, M. N., Stephenson, K., Covassin, T., Collins, M. W., Mucha, A., & Kontos, A. P. (2022). Using change scores on the vestibular ocular motor screening (VOMS) tool to identify concussion in adolescents. *Applied Neuropsychology: Child*, 11(4), 591-597. <https://doi.org/10.1080/21622965.2021.1911806>
- Elbin, R. J., Sufrinko, A., Anderson, M. N., Mohler, S., Schatz, P., Covassin, T., Mucha, A., Collins, M. W., & Kontos, A. P. (2018). Prospective Changes in Vestibular and Ocular Motor Impairment After Concussion. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 42(3), 142-148. <https://doi.org/10.1097/NPT.0000000000000230>
- Fallon, S., Akhand, O., Hernandez, C., Galetta, M. S., Hasanaj, L., Martone, J., Webb, N., Drattell, J., Amorapanth, P., Rizzo, J.-R., Nolan-Kenney, R., Serrano, L., Rucker, J. C., Cardone, D., Galetta, S. L., & Balcer, L. J. (2019). MULES on the sidelines : A vision-based assessment tool for sports-related concussion. *Journal of the Neurological Sciences*, 402, 52-56. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2019.04.036>
- Ferris, L. M., Kontos, A. P., Eagle, S. R., Elbin, R. J., Collins, M. W., Mucha, A., McAllister, T. W., Broglio, S. P., McCrea, M., Pasquina, P. F., & Port, N. L. (2022). Utility of VOMS, SCAT3, and ImPACT Baseline Evaluations for Acute Concussion Identification in Collegiate Athletes : Findings From the NCAA-DoD Concussion Assessment, Research and Education (CARE) Consortium. *The American Journal of Sports Medicine*, 50(4), 1106-1119. <https://doi.org/10.1177/03635465211072261>

- Galetta, K. M., Brandes, L. E., Maki, K., Dziemianowicz, M. S., Laudano, E., Allen, M., Lawler, K., Sennett, B., Wiebe, D., Devick, S., Messner, L. V., Galetta, S. L., & Balcer, L. J. (2011). The King–Devick test and sports-related concussion : Study of a rapid visual screening tool in a collegiate cohort. *Journal of the Neurological Sciences*, 309(1-2), 34-39.
<https://doi.org/10.1016/j.jns.2011.07.039>
- Galetta, K. M., Liu, M., Leong, D. F., Ventura, R. E., Galetta, S. L., & Balcer, L. J. (2016). The King-Devick test of rapid number naming for concussion detection : Meta-analysis and systematic review of the literature. *Concussion*, 1(2). <https://doi.org/10.2217/cnc.15.8>
- Gaudet, C. E., & Weyandt, L. L. (2017). Immediate Post-Concussion and Cognitive Testing (ImPACT) : A systematic review of the prevalence and assessment of invalid performance. *The Clinical Neuropsychologist*, 31(1), 43-58.
<https://doi.org/10.1080/13854046.2016.1220622>
- Glendon, K., Blenkinsop, G., Belli, A., & Pain, M. (2021). Prospective study with specific Re-Assessment time points to determine time to recovery following a Sports-Related Concussion in university-aged student-athletes. *Physical Therapy in Sport*, 52, 287-296.
<https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.10.008>
- Gordon, K. E., & Kuhle, S. (2022). Canadians Reporting Sport-Related Concussions : Increasing and Now Stabilizing. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 32(3), 313-317.
<https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000888>
- Gunasekaran, P., Fraser, C. L., & Hodge, C. (2020). The learning effect of the King-Devick test in semi-professional rugby union athletes. *Journal of the Neurological Sciences*, 419, 117168. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2020.117168>
- Hecimovich, M., Murphy, M., Chivers, P., & Stock, P. (2022). Evaluation and Utility of the King-Devick With Integrated Eye Tracking as a Diagnostic Tool for Sport-Related Concussion. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 10(12), 23259671221142255.
<https://doi.org/10.1177/23259671221142255>
- Henry, L. C., Elbin, R. J., Collins, M. W., Marchetti, G., & Kontos, A. P. (2016). Examining Recovery Trajectories After Sport-Related Concussion With a Multimodal Clinical Assessment

Approach. *Neurosurgery*, 78(2), 232-241.

<https://doi.org/10.1227/NEU.0000000000001041>

Joanna Briggs Institute. (2017). *Checklist for systematic reviews and research syntheses*.

https://joannabriggs.org/ebp/critical_appraisal_tools

Kaae, C., Cadigan, K., Lai, K., & Theis, J. (2022). Vestibulo-ocular dysfunction in mTBI: Utility of the VOMS for evaluation and management—A review. *NeuroRehabilitation*, 50(3), 279-296. MEDLINE with Full Text. <https://doi.org/10.3233/NRE-228012>

Kaas, J. H. (2008). The evolution of the complex sensory and motor systems of the human brain. *Brain Research Bulletin*, 75(2-4), 384-390.

<https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2007.10.009>

Kaas, J. H. (2017). Changing Concepts of Visual Cortex Organization in Primates. In J. W. Brown (Éd.), *Neuropsychology of Visual Perception* (1^{re} éd., p. 3-32). Routledge.

<https://doi.org/10.4324/9781315441849-1>

King, D., Clark, T., & Gissane, C. (2012). Use of a rapid visual screening tool for the assessment of concussion in amateur rugby league : A pilot study. *Journal of the Neurological Sciences*, 320(1-2), 16-21. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2012.05.049>

Knell, G., Caze, T., & Burkhart, S. O. (2021). Evaluation of the vestibular and ocular motor screening (VOMS) as a prognostic tool for protracted recovery following paediatric sports-related concussion. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 7(1), e000970.

<https://doi.org/10.1136/bmjsem-2020-000970>

Kontos, A. P., Eagle, S. R., Marchetti, G., Sinnott, A., Mucha, A., Port, N., Ferris, L. M., Elbin, R. J., Clugston, J. R., Ortega, J., Broglio, S. P., McAllister, T., McCrea, M., Pasquina, P., CARE Consortium Site Investigators, Brooks, A., Buckley, T., Mihalik, J., Miles, C., & Collins, M. W. (2021). Discriminative Validity of Vestibular Ocular Motor Screening in Identifying Concussion Among Collegiate Athletes : A National Collegiate Athletic Association—Department of Defense Concussion Assessment, Research, and Education Consortium Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 49(8), 2211-2217.

<https://doi.org/10.1177/03635465211012359>

- Kontos, A. P., Elbin, R. J., Schatz, P., Covassin, T., Henry, L., Pardini, J., & Collins, M. W. (2012). A Revised Factor Structure for the Post-Concussion Symptom Scale : Baseline and Postconcussion Factors. *The American Journal of Sports Medicine*, 40(10), 2375-2384. <https://doi.org/10.1177/0363546512455400>
- McCrory, P., Meeuwisse, W., Dvorak, J., Aubry, M., Bailes, J., Broglio, S., Cantu, R. C., Cassidy, D., Echemendia, R. J., Castellani, R. J., Davis, G. A., Ellenbogen, R., Emery, C., Engebretsen, L., Feddermann-Demont, N., Giza, C. C., Guskiewicz, K. M., Herring, S., Iverson, G. L., ... Vos, P. E. (2017). Consensus statement on concussion in sport—The 5th international conference on concussion in sport held in Berlin, October 2016. *British Journal of Sports Medicine*, bjsports-2017-097699. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097699>
- McCrory, P., Meeuwisse, W., Johnston, K., Dvorak, J., Aubry, M., Molloy, M., & Cantu, R. (2009). Consensus Statement on Concussion in Sport : The 3rd International Conference on Concussion in Sport held in Zurich, November 2008. *British Journal of Sports Medicine*, 43(Suppl_1), i76-i84. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.058248>
- McHugh, M. L. (2012). Interrater reliability : The kappa statistic. *Biochemia Medica*, 22(3), 276-282.
- Mucha, A., Collins, M. W., Elbin, R. J., Furman, J. M., Troutman-Enseki, C., DeWolf, R. M., Marchetti, G., & Kontos, A. P. (2014). A Brief Vestibular/Ocular Motor Screening (VOMS) Assessment to Evaluate Concussions : Preliminary Findings. *The American Journal of Sports Medicine*, 42(10), 2479-2486. <https://doi.org/10.1177/0363546514543775>
- Munoz, D. P., Armstrong, I., & Coe, B. (2007). Using eye movements to probe development and dysfunction. In *Eye Movements* (p. 99-124). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008044980-7/50007-0>
- Murray, N. G., Ambati, V. N. P., Contreras, M. M., Salvatore, A. P., & Reed-Jones, R. J. (2014). Assessment of oculomotor control and balance post-concussion : A preliminary study for a novel approach to concussion management. *Brain Injury*, 28(4), 496-503. <https://doi.org/10.3109/02699052.2014.887144>
- Murray, N. G., Moran, R., Islas, A., Pavilionis, P., Szekely, B., Alphonsa, S., Howell, D., Buckley, T., & Cipriani, D. (2021). Sport-related concussion adopt a more conservative approach to

straight path walking and turning during tandem gait. *Journal of Clinical and Translational Research*. <https://doi.org/10.18053/jctres.07.202104.002>

- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement : An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Patricios, J. S., Schneider, K. J., Dvorak, J., Ahmed, O. H., Blauwet, C., Cantu, R. C., Davis, G. A., Echemendia, R. J., Makdissi, M., McNamee, M., Broglio, S., Emery, C. A., Feddermann-Demont, N., Fuller, G. W., Giza, C. C., Guskiewicz, K. M., Hainline, B., Iverson, G. L., Kutcher, J. S., ... Meeuwisse, W. (2023). Consensus statement on concussion in sport : The 6th International Conference on Concussion in Sport–Amsterdam, October 2022. *British Journal of Sports Medicine*, 57(11), 695. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106898>
- Pillai, C., & Gittinger, J. W. (2017). Vision Testing in the Evaluation of Concussion. *Seminars in Ophthalmology*, 32(1), 144-152. <https://doi.org/10.1080/08820538.2016.1228412>
- Silverberg, N. D., Iverson, G. L., Cogan, A., Dams-O'Connor, K., Delmonico, R., Graf, M. J. P., Iaccarino, M. A., Kajankova, M., Kamins, J., McCulloch, K. L., McKinney, G., Nagele, D., Panenka, W. J., Rabinowitz, A. R., Reed, N., Wethe, J. V., Whitehair, V., Anderson, V., Arciniegas, D. B., ... Zemek, R. (2023). The American Congress of Rehabilitation Medicine Diagnostic Criteria for Mild Traumatic Brain Injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 104(8), 1343-1355. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2023.03.036>
- Sufrinko, A. M., Marchetti, G. F., Cohen, P. E., Elbin, R. J., Re, V., & Kontos, A. P. (2017). Using Acute Performance on a Comprehensive Neurocognitive, Vestibular, and Ocular Motor Assessment Battery to Predict Recovery Duration After Sport-Related Concussions. *The American Journal of Sports Medicine*, 45(5), 1187-1194. <https://doi.org/10.1177/0363546516685061>
- Symons, G. F., O'Brien, W. T., Abel, L., Chen, Z., Costello, D. M., O'Brien, T. J., Kolbe, S., Fielding, J., Shultz, S. R., & Clough, M. (2023). Monitoring the acute and subacute recovery of

- cognitive ocular motor changes after a sports-related concussion. *Cerebral Cortex*, 33(9), 5276-5288. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhac416>
- Teramoto, M., Grover, E. B., Cornwell, J., Zhang, R., Boo, M., Ghajar, J., & Lumba-Brown, A. (2022). Sex Differences in Common Measures of Concussion in College Athletes. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 37(4), E299-E309. <https://doi.org/10.1097/HTR.0000000000000732>
- Tomczyk, C. P., Anderson, M., Petit, K. M., Savage, J. L., & Covassin, T. (2021). Vestibular/Ocular Motor Screening Assessment Outcomes After Sport-Related Concussion in High School and Collegiate Athletes. *Journal of Athletic Training*, 56(12), 1285-1291. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0588.20>
- Veliz, P., McCabe, S. E., Eckner, J. T., & Schulenberg, J. E. (2017). Prevalence of Concussion Among US Adolescents and Correlated Factors. *JAMA*, 318(12), 1180. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.9087>
- Ventura, R. E., Balcer, L. J., & Galetta, S. L. (2014). The neuro-ophthalmology of head trauma. *The Lancet Neurology*, 13(10), 1006-1016. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(14\)70111-5](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(14)70111-5)
- Ventura, R. E., Jancuska, J. M., Balcer, L. J., & Galetta, S. L. (2015). Diagnostic Tests for Concussion : Is Vision Part of the Puzzle? *Journal of Neuro-Ophthalmology*, 35(1). https://journals.lww.com/jneuro-ophthalmology/fulltext/2015/03000/diagnostic_tests_for_concussion__is_vision_part_of.18.aspx
- Veritas Health Innovation. (2024). *Covidence systematic review software*. www.covidence.org
- Whelan, B. M., Gause, E. L., Ortega, J. D., Mills, B. M., Schmidt, J. D., Kaminski, T. W., Buckley, T. A., Breedlove, K. M., Kontos, A. P., Clugston, J. R., Goldman, J. T., Harmon, K. G., McCrea, M. A., McAllister, T. W., Broglio, S. P., & Chrisman, S. P. D. (2022). King-Devick testing and concussion recovery time in collegiate athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 25(11), 930-934. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2022.08.012>
- Whitney, S. L., Eagle, S. R., Marchetti, G., Mucha, A., Collins, M. W., Kontos, A. P., & CARE Consortium Investigators. (2020). Association of acute vestibular/ocular motor screening

scores to prolonged recovery in collegiate athletes following sport-related concussion.

Brain Injury, 34(6), 842-847. <https://doi.org/10.1080/02699052.2020.1755055>

Worts, P. R., Haider, M. N., Mason, J. R., & Schatz, P. (2022). Norm-Based Cutoffs as Predictors of Prolonged Recovery After Adolescent Sport-Related Concussion. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 32(4), e391-e399. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000952>

Zoe Marinides, Kristin M. Galetta, Connie N. Andrews, James A. Wilson, Daniel C. Herman, Christopher D. Robinson, Michael S. Smith, Brett C. Bentley, Steven L. Galetta, Laura J. Balcer, & James R. Clugston. (2015). Vision testing is additive to the sideline assessment of sports-related concussion. *Neurology: Clinical Practice*, 5(1), 25. <https://doi.org/10.1212/CPJ.0000000000000060>

3.8 Supplementary file

Supplementary file 1. Search Strategy Example (Medline)

#	Keywords
S1	(MM "Brain Concussion") OR (MH "Brain Injuries, Traumatic")
S2	AB (concussion* OR mTBI OR "mild traumatic brain injur*" OR "brain injur*" OR "head trauma" OR "head injur*" OR "closed head injur*" OR "sport-related concussion" or SRC)
S3	TI (concussion* OR mTBI OR "mild traumatic brain injur*" OR "brain injur*" OR "head trauma" OR "head injur*" OR "closed head injur*" OR "sport-related concussion" or SRC)
S4	S1 OR S2 OR S3
S5	(MH "Athletes")
S6	AB (athlete* OR sport* OR player* OR performance OR "physical activit*" OR "ice hockey" OR hockey OR "field hockey" OR "martial art" or "combat sport" OR box* OR judo OR wrestling OR basketball OR handball OR cheerleading OR volley-ball OR football OR soccer OR rugby OR "ultimate frisbee" OR diving OR "water polo" OR lacrosse OR rodeo OR skiing OR "ski jumping" OR snowboarding)
S7	TI athlete* OR sport* OR player* OR performance OR "physical activit*" OR "ice hockey" OR hockey OR "field hockey" OR "martial art" or "combat sport" OR box* OR judo OR wrestling OR basketball OR handball OR cheerleading OR volley-ball OR football OR soccer OR rugby OR "ultimate frisbee" OR diving OR "water polo" OR lacrosse OR rodeo OR skiing OR "ski jumping" OR snowboarding
S8	S5 OR S6 OR S7
S9	(MH "Vision Tests")
S10	AB ((assessment OR evaluation or test* OR measur* OR examination OR tool*) N8 (vision OR visual)) OR King-Devick OR VOMS OR "vestibular ocular motor screen*" OR MULES OR "mobile universal lexicon evaluation system" OR CogState OR CogSport OR Neurotracker OR 3D-MOT OR MOT OR ANAM OR "automated neuropsychological assessment metrics" OR TMT OR "trail-making test" OR STROOP OR "stroop color word test" OR SCWT OR "CNS VITAL SIGNS" OR CNS VS OR IMPACT
S11	TI ((assessment OR evaluation or test* OR measur* OR examination OR tool*) N8 (vision OR visual)) OR King-Devick OR VOMS OR "vestibular ocular motor screen*" OR MULES OR "mobile universal lexicon evaluation system" OR CogState OR CogSport OR Neurotracker OR 3D-MOT OR MOT OR ANAM OR "automated neuropsychological assessment metrics" OR TMT OR "trail-making test" OR STROOP OR "stroop color word test" OR SCWT OR "CNS VITAL SIGNS" OR CNS VS OR IMPACT
S12	S9 OR S10 OR S11
S13	(MH "Vision, Ocular")
S14	AB (vision OR visual OR "peripheral vision" OR acuity OR "visual working memory" OR "vestibulo-ocular" OR oculomotor OR "visual memory" OR "eye movement" OR "saccadic eye movement*" OR saccade* OR "vestibuloocular reflex" OR VOR OR "visual motion sensitivity" OR VMS OR convergence OR accomodation OR fixation OR
S15	TI (vision OR visual OR "peripheral vision" OR acuity OR "visual working memory" OR "vestibulo-ocular" OR oculomotor OR "visual memory" OR "eye movement" OR "saccadic eye movement*" OR saccade* OR "vestibuloocular reflex" OR VOR OR "visual motion sensitivity" OR VMS OR convergence OR accomodation OR fixation OR nystagmus OR pursuit OR "smooth pursuit")
S16	S13 OR S14 OR S15
S17	S4 AND S8
S18	S12 AND S16
S19	S17 AND S18

Supplementary file 2. Joanna Briggs quality of evidence checklist questions to assess cohort studies (Joanna Briggs Institute, 2017)

Q1	Were the two groups similar and recruited from the same population?
Q2	Were the exposures measured similarly to assign people into exposed and unexposed groups?
Q3	Was the exposure measured in a valid and reliable way?
Q4	Were confounding factors identified?
Q5	Were strategies to deal with confounding factors stated?
Q6	Were the groups/participants free of the outcome at the start of the study (or at the moment of exposure)?
Q7	Were the outcomes measured in a valid and reliable way?
Q8	Was the follow up time reported and sufficient to be long enough for outcomes to occur?
Q9	Was follow up complete, and if not, were the reasons to loss to follow up described and explored?
Q10	Were strategies to address incomplete follow up utilized?
Q11	Was appropriate statistical analysis used?

Supplementary file 3. Joanna Briggs quality of evidence checklist questions to assess cross-sectional studies (Joanna Briggs Institute, 2017)

Q1	Were the criteria for inclusion in the sample clearly defined?
Q2	Were the study subjects and the setting described in detail?
Q3	Was the exposure measured in a valid and reliable way?
Q4	Were objective, standard criteria used for measurement of the condition?
Q5	Were confounding factors identified?
Q6	Were strategies to deal with confounding factors stated?
Q7	Were the outcomes measured in a valid and reliable way?
Q8	Was appropriate statistical analysis used?

Supplementary file 4. Joanna Briggs quality of evidence checklist questions to assess case-control studies (Joanna Briggs Institute, 2017)

Q1	Were the groups comparable other than presence of disease in cases or absence of disease in controls?
Q2	Were cases and controls matched appropriately?
Q3	Were the same criteria used for identification of cases and controls?
Q4	Was exposure measured in a standard, valid and reliable way?
Q5	Was exposure measured in the same way for cases and controls?
Q6	Were confounding factors identified?
Q7	Were strategies to deal with confounding factors stated?
Q8	Were outcomes assessed in a standard, valid and reliable way for cases and controls?
Q9	Was the exposure period of interest long enough to be meaningful?
Q10	Was appropriate statistical analysis used?

Supplementary file 5. Joanna Briggs quality of evidence checklist questions to assess case-series studies (Joanna Briggs Institute, 2017)

Q1	Were there clear criteria for inclusion in the case series?
Q2	Was the condition measured in a standard, reliable way for all participants included in the case series?
Q3	Were valid methods used for identification of the condition for all participants included in the case series?
Q4	Did the case series have consecutive inclusion of participants?
Q5	Did the case series have complete inclusion of participants?
Q6	Was there clear reporting of the demographics of the participants in the study?
Q7	Was there clear reporting of clinical information of the participants?
Q8	Were the outcomes or follow-up results of cases clearly reported?
Q9	Was there clear reporting of the presenting site(s)/clinic(s) demographic information?
Q10	Was statistical analysis appropriate?

Chapitre 4 – Compléments d’information

À la lumière de cette revue systématique de la littérature, quatre types d’outils d’évaluation du système visuel ont été identifiés, soit : le test de dépistage vestibulo-oculomoteur (VOMS), le *King-Devick* (K-D), deux dispositifs de suivi oculaire et le *Mobile Universal Lexicon Evaluation System* (MULES). Il convient de préciser que les articles inclus n’avaient pas pour objectif de décrire ces outils en détail, puisque les lecteurs ciblés œuvrent dans le domaine et possèdent des connaissances préalables sur ces instruments. Cependant, dans le cadre de ce mémoire, il apparaît juste de faire la description de chacun afin de faciliter la compréhension du lecteur. Par ailleurs, le tableau 2 permettra de résumer les principales caractéristiques des outils présentés dans ce chapitre.

4.1.1 Test de dépistage vestibulo-oculomoteur (VOMS)

L’essor du VOMS en contexte de CC dans le sport a débuté en 2014 lorsqu’il a été étudié pour la première fois par un groupe de chercheurs du Centre Médical de l’Université de Pittsburgh (Mucha et al., 2014). Depuis, plusieurs études ont exploré cet outil dans le monde du sport ainsi que dans le milieu militaire (Hoppes et al., 2025; Thomas et al., 2023). Le test a initialement été conçu à des fins d’évaluation des déficits vestibulo-oculaires et d’identification des patients commotionnés dans la phase aiguë post-blessure (Mucha et al., 2014). Depuis, son potentiel à prédire la récupération prolongée chez les commotionnés est également étudié (Barnhart et al., 2024).

Le VOMS consiste à évaluer cinq composantes du système vestibulo-oculaire, soit : la poursuite visuelle, la saccade, le point de convergence (PC), le réflexe oculovestibulaire (ROV) et la sensibilité visuelle au mouvement (SVM). Le test comporte sept items au total, puisque la saccade et le réflexe oculovestibulaire sont évalués une fois dans l’axe vertical et une autre fois dans l’axe horizontal. Les symptômes liés au système vestibulo-oculaire, tels que les céphalées, les étourdissements, la nausée et la sensation d’être dans le brouillard, sont cotés sur dix (/10) par

le participant une fois avant de débiter le test, puis après chaque item du test. De plus, la distance (en centimètres) est également notée pour le test de point de convergence. La durée d'administration du test est d'environ 5 à 10 minutes. Celui-ci est valide lorsqu'administré par un professionnel de la santé chez les individus âgés de 9 à 40 ans. D'ailleurs, le test ne nécessite aucune technologie avancée. En effet, un métronome, un ruban à mesurer ainsi qu'une cible sont les seuls équipements requis. Il a été déterminé qu'une cote de symptômes ≥ 2 dans au moins un domaine ou une distance au point de convergence ≥ 5 centimètres constituaient des scores robustes dans l'identification de la CC (Mucha et al., 2014). L'annexe A est une illustration des procédures du test, donnant accès aux instructions détaillées de chaque item du VOMS.

4.1.2 King-Devick (K-D)

Développé en 1976, le test *King-Devick* a depuis été étudié dans divers contextes et auprès de populations variées, notamment en lien avec la maladie de Parkinson, la sclérose latérale amyotrophique, la privation de sommeil et l'hypoxie (Ayaz et al., 2014; Davies et al., 2012; A. King & Devick, 1976; Lin et al., 2014; Stepanek et al., 2014). Au cours des quinze dernières années, il a connu un essor marqué chez la population athlétique commotionnée (Galletta et al., 2016).

Le test permet d'évaluer, sans toutefois discriminer, l'attention, le langage et certaines fonctions visuelles, telles que les saccades, l'accommodation et la convergence. Le protocole, d'une durée d'environ deux minutes, consiste à lire à voix haute et le plus rapidement possible trois cartes comportant une série de chiffres. Le temps pour compléter les trois cartes et le nombre d'erreurs sont mesurés. La moyenne de deux essais les plus rapides et exempts d'erreurs est comptabilisée et sert de score final. Initialement conçu sous format papier, le test est désormais administré sur tablette électronique, via une application nécessitant une licence d'utilisation. Le K-D est généralement utilisé sur les lignes de côtés, immédiatement après une suspicion de CC. Une détérioration du score (augmentation du temps), entre la mesure de référence (pré-saison) et celle post-commotion, est suggérée comme seuil valide pour identifier une CC chez un athlète (Galletta et al., 2016). Cependant, si aucun test pré-saison n'a été réalisé, il n'existe alors aucune

mesure de référence pour interpréter le score post-CC. L'annexe B illustre un exemple des cartes présentant les séries de chiffres à lire durant le test.

4.1.3 Les dispositifs de suivi du mouvement oculaire

Plusieurs technologies d'évaluation du mouvement des yeux en contexte de CC existent dans la littérature (Snegireva et al., 2018). Cependant, seulement les deux dispositifs identifiés dans notre revue seront abordés dans cette section.

D'abord, l'unité vidéo-oculographique à infrarouge de 120 Hz a été utilisée en combinaison avec le test K-D. Le dispositif, développé par *King-Devick technologies, Inc.*, est installé sur un ordinateur portable devant le participant et suit le mouvement des pupilles pendant la tâche du K-D (le test K-D est décrit à la section 4.1.2). Ce dispositif permet d'avoir des données objectives par rapport au mouvement oculaire, telles que le nombre total, la durée et l'aire polygonale des fixations, le nombre total, la vitesse moyenne et la latence des saccades, ainsi que le nombre de clignements des yeux. Toutefois, étant encore très récent dans la littérature, aucune donnée n'est disponible quant aux standards concernant l'identification de la CC chez les athlètes, ce qui constitue sa principale limite.

Ensuite, un système de suivi du mouvement des yeux monoculaire ASL de 120 Hz, disponible depuis 2007 et développé par *Applied Science Laboratories*, a été utilisé en combinaison avec une tâche sportive (soccer) sur la *Wii-Fit* (Applied Science Laboratories, 2007). Un casque est disposé sur la tête du participant et le système capture les mouvements de l'œil gauche à l'aide d'une caméra. Le pourcentage de temps pendant lequel le regard est fixé au centre ainsi que le nombre de déviations du regard depuis le centre sont comptabilisés (Murray et al., 2014). À ce jour, seulement un article, inclus dans notre revue systématique de la littérature, a étudié cette technologie en contexte de CC. Malgré son aspect prometteur, aucune donnée n'est donc disponible quant aux normes permettant d'identifier la CC chez les athlètes à l'aide de cet outil.

4.1.4 Mobile Universal Lexicon Evaluation System (MULES)

Le MULES, développé en 2017 par un groupe de chercheurs de l'Université de New York, est un outil d'évaluation relativement récent dans la littérature scientifique, inspiré du K-D (Cobbs et al., 2017). En effet, plutôt que de lire à voix haute une série de chiffres, la tâche du MULES consiste à nommer à voix haute, sans faire d'erreur, une liste de 54 images (sur papier) comprenant des fruits, des animaux et des objets. Le temps d'exécution ainsi que le nombre d'erreurs sont comptabilisés. Ce test évalue la saccade ainsi que des processus cognitifs tels que la perception des couleurs, l'identification et la catégorisation des objets (Cobbs et al., 2017). À ce jour, aucun seuil clinique n'est disponible et la validité du test en contexte de CC dans le sport n'a pas été étudiée. L'annexe C illustre les 54 images à nommer durant le test.

Tableau 11. – Résumé des principales caractéristiques des outils d'évaluation du système visuel inclus dans la revue systématique de la littérature

Outil	Description	Critères permettant d'identifier la CC	Mouvements des yeux évalués grâce à l'outil
Test de dépistage vestibulo-oculomoteur (VOMS)	Tâches : 1) suivre une cible en mouvement avec les yeux, 2) changer son regard d'une cible à l'autre le plus rapidement possible, sans bouger la tête, 3) observer une cible qui se rapproche du nez, 4) stabiliser son regard alors que la tête est en mouvement, 5) regarder une cible fixe en effectuant des rotations du tronc Mesures : score de symptôme sur 10 (avant et après chaque item) et distance (cm) du point de convergence (tâche 3)	Score ≥ 2 dans au moins un domaine ou une distance ≥ 5 cm au point de convergence (tâche 3)	• Poursuite oculaire • Saccade • Convergence • Réflexe oculovestibulaire (VOR) • Sensibilité visuelle au mouvement (SVM)

<i>King-Devick (K-D)</i>	Tâche : lecture à voix haute de trois cartes comportant une série de chiffres (sur tablette électronique).	Toute diminution entre le score présaison et post-CC	• Accommodation • Saccades • Convergence
--------------------------	---	--	--

Mesures : temps d'exécution et le nombre d'erreurs

Unité vidéo-oculographique à infrarouge (120 Hz) combiné au K-D	Tâche : capture du mouvement des yeux lors de la tâche au K-D. Mesures : nombre total, durée et aire polygonale des fixations, nombre total, vitesse moyenne et latence des saccades et nombre de clignements des yeux	Aucune	• Fixation • Saccade
---	---	--------	---

Système du suivi du mouvement des yeux monoculaire ASL (120 Hz) combiné à une tâche sportive (<i>Wii-Fit</i>)	Tâche : capture du mouvement des yeux lors d'une tâche sportive (soccer) à la <i>WiiFit</i> . Mesures : % de temps dont le regard est fixé au centre et nombre de déviations du regard depuis le centre	Aucune	• Fixation
---	--	--------	--

<i>Mobile Universal Lexicon Evaluation System (MULES)</i>	Tâche : nommer à voix haute 54 images (objets, animaux, fruits). Mesures : temps d'exécution et nombre d'erreurs	Aucune	• Saccade
---	---	--------	---

Chapitre 5 – Discussion générale

Cette revue systématique de la littérature visait à analyser les outils d'évaluation du système visuel utilisés en contexte aigu (0 à 7 jours) de CC chez les athlètes de tous âges, toutes disciplines sportives et tous niveaux de compétition. De plus, l'objectif secondaire était d'identifier les données psychométriques de ces outils, lorsque disponibles. Tel que décrit dans le chapitre précédent, quatre outils ont été identifiés à partir des 18 articles inclus dans la revue. L'outil le plus populaire d'entre eux est le test de dépistage vestibulo-oculomoteur (VOMS), suivi par le *King-Devick* (K-D), les dispositifs de suivi oculaire et finalement, le *Mobile Universal Lexicon Evaluation System* (MULES). La discussion générale sera divisée par outil et présentée dans ce même ordre. Par ailleurs, des thèmes spécifiques relatifs à ces outils seront discutés dans ce chapitre, soit : 1) la capacité de ces outils à identifier la CC chez un athlète, 2) les seuils cliniques proposés ainsi que 3) leur aptitude à prédire la récupération prolongée.

5.1 Test de dépistage vestibulo-oculomoteur (VOMS)

L'essor du test de dépistage VOMS a été reflété dans notre revue. En effet, parmi les 18 articles inclus dans notre étude, 12 articles ont étudié différentes caractéristiques du VOMS.

5.1.1 L'identification de la commotion cérébrale

Les résultats de notre étude suggèrent que le score total au VOMS a la capacité d'identifier la CC chez les athlètes comparativement aux athlètes non blessés. Plus précisément, une de nos études incluses, dont le nombre de biais était limité, démontre que l'outil a une sensibilité modérée de 77% ainsi qu'une haute spécificité de 83% (Ferris et al., 2022). Ces données se greffent à la littérature scientifique actuelle, dont celles d'une méta-analyse qui dresse le portrait des évidences du VOMS chez les individus ayant subi une CC, entre autres dans un contexte sportif (Thomas et al., 2023). Les auteurs indiquent que le VOMS comprend des étendues de sensibilité allant de faible à excellente, soit de 58% à 96% et de spécificité allant de très faible à excellente, soit entre 46% et 92% (Thomas et al., 2023). Les données psychométriques émanant de notre étude s'inscrivent dans les valeurs les plus élevées de ces plages. Ce phénomène pourrait

découler du fait que les participants de l'étude de Ferris et collègues (2022) ont été évalués entre 0 et 48 heures suivant la CC. Or, cette fenêtre correspond à une période de grande vulnérabilité chez l'athlète commotionné, entre autres en raison des perturbations neurométaboliques et fonctionnelles ayant lieu au cerveau, enclenchées immédiatement à la suite de la blessure (Giza & Hovda, 2014).

Parmi les études incluses dans notre revue, il a été suggéré également que certains items du VOMS permettraient, à eux seuls, d'identifier la CC (Kontos et al., 2021). Effectivement, dans une étude de bonne qualité, il a été proposé que chacun des items du VOMS, à l'exception du test de SVM et de la distance au PC, possède la capacité de détecter un athlète atteint d'une CC (Kontos et al., 2021). Il est même suggéré qu'une combinaison de deux items, soit les saccades verticales ainsi que le ROV horizontal, puisse discriminer efficacement les athlètes ayant subi une CC des athlètes en santé (Kontos et al., 2021). Ces constats divergent toutefois avec ceux d'une autre étude incluse dans notre revue systématique, qui propose plutôt que la distance PC pourrait confirmer à elle seule un athlète commotionné et que la combinaison du SVM, de la distance PC et du ROV constitue un ensemble de prédicteurs robustes (Elbin et al., 2022). Cette divergence pourrait s'expliquer par le fait qu'une des études ait été réalisée auprès d'une population adolescente, tandis que l'autre portait sur de jeunes adultes. Certes, les auteurs suggèrent que les différences entre ces deux groupes en termes de maturité des fonctions visuelles (dont celles évaluées par le VOMS) ne sont pas négligeables (Fischer et al., 1997; Salman et al., 2006; Yang et al., 2002).

Ajoutés à ces derniers résultats, Elbin et collègues (2022) proposent une façon distincte d'identifier la CC chez les athlètes en évaluant le changement de score entre la cote sur 10 des symptômes qui précède et qui suit le test. Les chercheurs de cette étude incluse dans notre revue suggèrent qu'un changement de score de symptômes total à 3 aurait une sensibilité de 64% ainsi qu'une spécificité de 74% pour l'identification d'un athlète commotionné. Toutefois, malgré que l'étude comporte très peu de biais, elle ne précise ni les disciplines sportives pratiquées ni le niveau de compétition des participants, limitant la transférabilité des résultats à l'ensemble de la

population athlétique. Par ailleurs, une autre étude, incluse dans notre revue, publiée par les mêmes auteurs a indiqué avoir identifié plus d'athlètes ayant subi une CC avec la méthode couramment utilisée plutôt qu'avec la méthode du changement de score (Elbin et al., 2018). L'évaluation de la CC chez les athlètes par le biais du changement de score demeure donc relativement récente et requiert des investigations supplémentaires.

5.1.2 Les seuils cliniques

Tel que mentionné précédemment, les seuils cliniques actuels utilisés dans l'identification de la à l'aide du VOMS se traduisent par l'obtention d'un score total de symptômes ≥ 2 dans au moins un domaine du VOMS ou par une distance ≥ 5 cm au PC (Mucha et al., 2014). Cependant, l'une des études incluses propose trois alternatives distinctes aux seuils couramment utilisés, soit : a) un changement de score de symptômes total au VOMS ≥ 3 , ou b) une distance ≥ 3 cm au PC, ou c) un modèle à trois facteurs combinant 1) une distance ≥ 3 cm au PC, 2) un changement de score ≥ 1 au ROV vertical et 3) un changement de score ≥ 1 au SVM (Elbin et al., 2022). Tel que discuté dans la section précédente, la méthode de changement de score au VOMS demeure à être explorée davantage, mais le modèle à trois facteurs aurait le potentiel de retirer certains items du VOMS et ainsi réduire la durée d'évaluation. Il est important de mentionner que l'étude qui présente ces nouveaux seuils portait sur des athlètes pédiatriques, limitant la portée des résultats chez les adultes. D'ailleurs, nos résultats ont rapporté que les femmes performaient différemment des hommes au VOMS. En effet, elles auraient un score de provocation de symptômes plus élevé ainsi que des changements de score plus important pour certains domaines du VOMS (poursuite visuelle, saccades horizontales et verticales) (Ferris et al., 2022; Teramoto et al., 2022). Cette distinction pourrait s'expliquer par le fait que les femmes rapporteraient davantage de symptômes associés au système visuel, tels que la sensibilité à la lumière et les étourdissements, comparativement aux hommes, ce qui pourrait se refléter sur le score du VOMS (Bunt et al., 2022; Henry et al., 2016). L'élaboration des seuils cliniques devrait donc tenir compte des différences liées au sexe biologique.

5.1.3 Processus de récupération

Dans les études incluses portant sur la prédiction de la récupération prolongée (≥ 30 jours), les auteurs de quatre études distinctes s'accordent pour dire qu'un VOMS anormal dans la phase aiguë après une CC peut constituer un indicateur de récupération prolongée chez les athlètes. Quelques auteurs proposent des prédicteurs similaires : Sufrinko et collègues (2017) suggèrent qu'une augmentation du score de symptômes dans n'importe quel domaine du VOMS, plus particulièrement au test de poursuite visuelle, est associée à la récupération longue; Whitney et collègues (2020) indiquent qu'un score ≥ 2 dans n'importe quel domaine du VOMS pourrait être prédictif; enfin Worts et collègues (2021) avancent que les meilleurs prédicteurs sont la poursuite visuelle, la saccade horizontale, le PC et le SVM. Ces affirmations vont dans le même sens que la littérature actuelle. En effet, les auteurs d'une revue de la littérature portant sur la capacité du VOMS à prédire la récupération chez les patients commotionnés, incluant les athlètes, ont révélé que 14 des 19 études incluses concluaient qu'un VOMS positif constituait un prédicteur fiable de la récupération prolongée (Barnhart et al., 2024). Cela étant dit, une étude figurant dans notre revue mérite une attention particulière à ce sujet. Knell et collègues (2021), auteurs d'une étude de haute qualité, ont aussi démontré que le VOMS était un prédicteur de la récupération longue. Toutefois, ces derniers ont effectué des statistiques plus avancées, et on conclut qu'en raison d'une spécificité trop faible de l'outil et le risque trop élevé de faux positifs, le VOMS n'était pas suffisamment valide pour être utilisé comme outil pronostic de la CC en contexte sportif (Knell et al., 2021). Étant donné que cette dernière étude était composée seulement d'une population pédiatrique, des statistiques similaires dans une population adulte permettraient de faire des conclusions plus robustes quant à la capacité pronostique du VOMS chez les athlètes.

Dans un autre ordre d'idée, des résultats publiés par Glendon et collègues (2021) suggèrent que les fonctions vestibulo-oculomotrices mesuré par le VOMS, initialement anormal, tendrait à se résorber d'ici le huitième jour suivant la CC, chez des athlètes de rugby adultes. Bien que cette observation concorde avec le processus naturel de récupération de la CC (McCrory et al., 2017), c'est la seule étude incluse ayant évalué l'évolution des fonctions vestibulo-oculomotrices à l'aide du VOMS, il est donc difficile d'interpréter ces résultats. En complément, il serait justifié de

mesurer les fonctions vestibulo-oculomotrices à l'aide de différent outil, en plus du VOMS, afin de mieux cerner l'évolution de ces fonctions au fil du temps.

5.1.4 Sommaire

En résumé, les résultats, issus de trois études de bonne qualité, démontrent que le VOMS a le potentiel d'identifier les commotions cérébrales chez les athlètes pédiatriques et adultes entre 0 et 7 jours après la blessure avec des valeurs de spécificité et de sensibilité élevées. Des seuils cliniques de certains items du VOMS pourraient être plus discriminants (SVM, ROV, NPC) pour l'identification de la CC. Cependant, ces données ne sont pas transférables à l'ensemble de la population athlétique à ce jour. Finalement, une tendance semble se dessiner quant à la valeur du VOMS à prédire la récupération prolongée, mais les résultats suggèrent toutefois que le VOMS ne devrait pas être utilisé seul en tant qu'outil pronostique de la CC dans le sport.

5.2 Test *King-Devick* (K-D)

Parmi les 18 articles inclus dans notre revue systématique de la littérature, cinq études se sont intéressées au test King-Devick (K-D).

5.2.1 L'identification de la commotion cérébrale

Les résultats de notre revue rapportent que le King-Devick aurait le potentiel de distinguer les athlètes ayant subi une CC, en démontrant que le score de temps au K-D était significativement plus élevé après la blessure (CC) par rapport aux données présaisons (Galetta et al., 2011; D. King et al., 2012). Par ailleurs, il est suggéré que, en contexte de CC, le K-D a une spécificité élevée (86%), mais une sensibilité limitée de 40% (Hecimovich et al., 2022). Cette dernière affirmation ne concorde pas avec les données probantes en vigueur. En effet, une méta-analyse indique plutôt que le K-D a une sensibilité de 90% pour la détection des CC chez les athlètes (Galetta et al., 2016). Cet écart important peut s'expliquer par la petite taille de l'échantillon étudié par Hecimovich et collègues (2022), qui ne comptait que six athlètes ayant subi une CC, réduisant le poids statistique de leurs résultats.

5.2.2 Les seuils cliniques

Les résultats rapportés par les études incluses dans notre revue indiquent une différence médiane à la hausse d'environ 5 secondes entre le score présaison et post-CC au *King-Devick* chez les athlètes adultes, tant collégiaux qu'amateurs (Galetta et al., 2011; D. King et al., 2012). Ces études n'ont toutefois pas étudié la validité de cette valeur, mais elle demeure cohérente avec les résultats présentés par Harmon et collègues (2022) qui suggèrent qu'une augmentation de temps entre 3 et 5 secondes par rapport aux valeurs présaisons au K-D constitue une fourchette de valeurs optimales en termes de spécificité et de sensibilité. Il convient de souligner que cette étude portait également sur des athlètes collégiaux. Ainsi, la validité de ce seuil devra alors être explorée chez la population pédiatrique, pour qui la performance à la tâche pourrait différer (Gubanich et al., 2019). D'ailleurs, il serait tout aussi pertinent d'établir des valeurs normatives quant au score du K-D post-CC. En effet, l'utilité clinique du K-D demeure limitée s'il requiert impérativement une valeur comparative obtenue en présaison pour permettre l'identification de la CC.

5.2.3 Processus de récupération

Il a été rapporté, dans une étude incluse dans notre revue, une association entre une performance plus lente au K-D après la CC et une récupération prolongée (> 28 jours) chez la population athlétique adolescente (Worts et al., 2022). Ces conclusions s'alignent avec celles proposées par Whelan et collègues (2022), indiquant qu'un temps d'exécution plus lent au K-D entre 0 et 2 jours suivant la CC est associé à un retour au jeu tardif (> 4 semaines) chez les athlètes collégiaux. La reproduction méthodologique de ces deux études avec des échantillons plus variés, dans l'optique de proposer des modèles de prédiction validés, permettra de tirer des conclusions plus solides quant à la valeur pronostique du K-D dans le contexte de CC chez les athlètes.

Il ressort, des données issues d'une étude de notre revue, que le temps d'exécution au K-D s'améliore significativement entre 2 et 6 jours après la CC (Symons et al., 2023). Ce phénomène est cohérent avec le délai typique de récupération en contexte de CC, autour de 7 à 10 jours (McCrory et al., 2017). Cependant, ce phénomène pourrait également être attribué aux effets

d'apprentissage pouvant être présents jusqu'à 30 essais au King-Devick (Gunasekaran et al., 2019).

5.2.4 Sommaire

Pour résumer, le K-D démontre des données intéressantes quant à son potentiel à détecter la CC chez les athlètes. Bien que les données de notre étude démontrent une sensibilité relativement faible de l'outil, la puissance statistique des études incluses dans notre revue demeure limitée comparativement aux études antérieures plus robustes qui rapportent des valeurs de validité élevées. En ce qui concerne les seuils cliniques, il est essentiel de les valider spécifiquement auprès de la population adulte et amateur, dans un contexte aigu de CC. Enfin, la valeur pronostique du K-D semble prometteuse, mais nécessite d'être confirmée auprès d'un échantillonnage diversifié.

5.3 Autres outils d'évaluation du système visuel

5.3.1 Dispositifs du suivi du mouvement des yeux

Deux dispositifs distincts ont été examinés dans notre revue de la littérature afin d'évaluer le mouvement des yeux. D'abord, Hecimovich et collègues (2022) ont exploré une unité vidéo-oculographique à infrarouge captant le mouvement des yeux lors d'une tâche au *King-Devick* sur ordinateur. Les auteurs n'ont révélé aucune différence significative entre les données des athlètes de rugby collégiaux ayant subi une CC (n=6) et les données comparatives présaisons. Les auteurs ont rapporté que les paramètres mesurés de l'outil (voir section 4.1.3) présentaient une spécificité et une sensibilité insuffisantes pour détecter une CC. Ensuite, Murray et collègues (2014) ont utilisé un dispositif enregistrant le mouvement monoculaire lors d'une tâche sportive (soccer) sur la Wii-Fit. Ils ont observé que la déviation oculaire par rapport au centre était significativement plus élevée chez les athlètes ayant subi une CC (n=9) que chez les sujets athlétiques sains. Ce phénomène pourrait s'expliquer par une perturbation du réflexe oculovestibulaire, qui est responsable des symptômes de vision floue, des troubles de l'équilibre ou des étourdissements (Crampton et al., 2021). Il demeure difficile de tirer des conclusions à partir de ces deux études, en raison de plusieurs limites, telles que la taille d'échantillon

restreinte, la disparité des paramètres mesurés, ainsi que l'hétérogénéité des dispositifs étudiés. Ces limites sont d'ailleurs soulignées dans la revue systématique et méta-analyse publiée par Snegireva et collègues (2018) qui concluent, après avoir analysé 21 études, que les divergences méthodologiques dans l'évaluation du mouvement oculaire empêchent toute recommandation clinique quant à leur utilisation.

En somme, bien que ces dispositifs présentent un potentiel intéressant pour fournir des mesures objectives et précises des altérations des mouvements oculaires après une CC en contexte sportif, il demeure actuellement impossible d'émettre des lignes directrices claires à leur sujet, puisque les recherches sont encore à un stade trop préliminaire.

5.3.2 Mobile Universal Lexicon Evaluation System (MULES)

Parmi les articles inclus, seule l'étude de Fallon et collègues (2019) s'est penchée sur le *Mobile Universal Lexicon Evaluation System*. Les auteurs rapportent que chez un petit échantillon de 17 athlètes ayant subi une CC provenant de divers sports et de niveaux de compétition variés, le temps requis pour compléter la tâche était significativement plus long entre les données post-CC et les données présaison. Les données probantes disponibles s'alignent avec cette tendance. En effet, l'étude d'Akhand et collègues (2018), qui ne précise pas le moment d'évaluation post-CC, démontre que les six athlètes inclus dans leur étude ayant subi une CC ont présenté une augmentation significative de leurs résultats (temps plus long) au score du MULES comparativement à leur score présaison. Cependant, le nombre limité d'études portant sur le MULES à ce jour ne permet pas de confirmer son utilité en tant qu'outil d'évaluation de la CC chez la population sportive.

5.4 Application clinique

Les résultats de ce projet de recherche, sous forme de revue systématique de la littérature, soulignent l'importance d'intégrer un outil d'évaluation du système visuel lors du dépistage aigu d'un athlète ayant subi une CC. En ce sens, divers professionnels de la santé, tels que les thérapeutes du sport, les physiothérapeutes, les médecins du sport et tous les autres

professionnels travaillant en contexte sportif pourraient tirer profit de cet ajout à leur démarche clinique.

À l'instar des données disponibles à ce jour et parmi les outils abordés précédemment, le VOMS semble être le plus valide pour soutenir la prise de décision au moment du diagnostic de la CC chez les sportifs. Il présente l'avantage d'évaluer différentes composantes du système visuel de façon isolée, ce qui permet de cibler les altérations spécifiques et de concevoir un plan de traitement adapté, tout en assurant un référencement vers les spécialistes appropriés au besoin (Mucha et al., 2014). L'accessibilité du VOMS ainsi que son court temps d'administration, soit d'environ 5 à 10 minutes, en font un atout considérable dans le contexte pratique clinique. Cela dit, bien que de nouveaux seuils cliniques semblent prometteurs, leur validité reste à confirmer. Il serait donc plutôt prudent de s'en tenir aux seuils cliniques actuels, soit un score total de symptômes ≥ 2 dans au moins un domaine du VOMS ou une distance ≥ 5 cm au PC (Mucha et al., 2014). D'ailleurs, ces seuils ne nécessitent pas de mesures de référence présaison, ce qui peut être favorable dans des contextes de sport plutôt amateur, où des données présaisons sont rarement réalisées. Par ailleurs, il est important de souligner que le VOMS ne doit pas être utilisé seul dans le diagnostic de la CC chez les athlètes. Une évaluation multimodale intégrant plusieurs domaines d'évaluation (symptômes, concentration, mémoire, équilibre, etc.) demeure essentielle afin de dresser un portrait global de l'état de l'athlète commotionné et ainsi favoriser un meilleur pronostic (Patricios, Schneider, Dvorak, et al., 2023). En ce sens, il serait pertinent d'envisager l'intégration du VOMS au *Sport Concussion Assessment Tool 6* (SCAT6). En effet, certains athlètes, notamment ceux évoluant à des niveaux de compétition moins encadrés, n'ont pas toujours accès à un suivi clinique à la suite de l'évaluation aiguë de leur CC sur le terrain (Kontos et al., 2020; Putukian et al., 2009). Une évaluation précoce des déficits visuels pourrait ainsi favoriser un meilleur pronostic. Par ailleurs, puisqu'il n'est pas encore clairement établi quel item du VOMS permettrait de discriminer de façon fiable un athlète commotionné, et afin d'obtenir un portrait global des altérations visuelles, il pourrait être plus judicieux d'inclure la version intégrale du VOMS dans le *Sport Concussion Office Assessment Tool 6* (SCOAT 6), plutôt que la version raccourcie qui y figure déjà.

Le *King-Devick* constitue lui aussi un outil ayant un potentiel notable sur le plan clinique, notamment en raison de sa simplicité d'utilisation. Or, il comporte certaines limites, notamment du fait qu'un test présaison est nécessaire afin d'interpréter les résultats post-CC, sans quoi les données perdent leur valeur, puisqu'ils reposent sur une comparaison intrasujet. Par ailleurs, le K-D ne permet pas une évaluation exhaustive des fonctions visuelles, seules la saccade, la convergence et l'accommodation sont sollicitées lors du test, sans qu'il ne soit possible d'isoler avec précision les composantes du système visuel possiblement altérées (Collins et al., 2014).

Finalement, les autres outils présentés dans ce mémoire, tels que les dispositifs de suivi du mouvement oculaire ne doivent pas être exclus pour autant. Cependant, les futures expérimentations devront démontrer davantage de données robustes avant de recommander leur intégration dans la pratique clinique courante. Aussi, ces technologies comportent quelques contraintes d'ordre opérationnel, notamment des coûts élevés et des exigences logistiques spécifiques, limitant leur utilisation dans un contexte sportif aigu. Néanmoins, il est encore trop tôt pour émettre des recommandations au sujet du MULES, mais il pourrait connaître un essor au sein de la population sportive s'il suit les traces du test K-D, auquel il est étroitement apparenté.

5.5 Sommaire des limites et des perspectives expérimentales

À la lumière des forces et faiblesses des outils précédemment analysés, voici quelques recommandations clés afin de guider les recherches futures. Tout d'abord, il a été observé qu'environ cinq des études incluses provenaient du même groupe de chercheurs. L'amélioration de la diversité des échantillons en reproduisant les études à travers différents pays et équipes de recherche variées réduirait le biais de représentativité et augmenterait la validité externe et la transférabilité des résultats. Par ailleurs, sachant que les comportements varient entre les hommes et les femmes quant à la CC, cette différence devra être analysée davantage dans les futures expérimentations en contexte d'évaluation du système visuel (Covassin et al., 2018). En effet, seules deux études incluses ont comparé les performances visuelles en fonction du sexe biologique. En ce qui concerne l'âge des participants, il apparaît essentiel de porter une attention particulière à la population pédiatrique, notamment dans les études futures portant sur le K-D,

ce groupe était sous-représenté dans les études incluses de notre revue. En ce qui a trait aux seuils cliniques émergents du VOMS, les études ultérieures pourraient tester leur valeur ajoutée par rapport à ceux déjà établis, afin d'optimiser l'usage du VOMS dans un contexte clinique. En outre, les dispositifs de suivi du mouvement oculaire et l'outil MULES devront être étudiés auprès d'échantillons de taille plus large et plus diversifié afin d'accroître la puissance statistique des résultats.

Chapitre 6 – Conclusion

En somme, ce mémoire contribue non seulement à l'avancée scientifique par sa mise à niveau rigoureuse concernant les outils d'évaluation visuelle utilisés en contexte de CC aiguë dans le sport, mais également en rapportant leur valeur clinique aux différents professionnels de la santé travaillant en contexte sportif. En effet, l'ajout d'un outil d'évaluation visuelle dans la batterie de tests du clinicien permettra d'élever le niveau de soin chez les athlètes en rendant l'examen plus exhaustif. L'identification hâtive des déficits du système visuel favorisera un référencement plus approprié aux spécialistes, l'élaboration de meilleurs plans de traitement, ainsi qu'un retour au jeu plus sécuritaire. En outre, les recherches futures dans le domaine permettront d'optimiser l'utilisation des outils d'évaluation visuelle, favorisant leur application à l'ensemble de la population sportive.

Références bibliographiques

- Akhand, O., Balcer, L. J., & Galetta, S. L. (2019). Assessment of vision in concussion. *Current Opinion in Neurology*, 32(1), 68-74. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000654>
- Akhand, O., Galetta, M. S., Cobbs, L., Hasanaj, L., Webb, N., Drattell, J., Amorapanth, P., Rizzo, J.-R., Nolan, R., Serrano, L., Rucker, J. C., Cardone, D., Jordan, B. D., Silverio, A., Galetta, S. L., & Balcer, L. J. (2018). The new Mobile Universal Lexicon Evaluation System (MULES) : A test of rapid picture naming for concussion sized for the sidelines. *Journal of the Neurological Sciences*, 387, 199-204. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2018.02.031>
- Akin, F. W., Murnane, O. D., Hall, C. D., & Riska, K. M. (2017). Vestibular consequences of mild traumatic brain injury and blast exposure : A review. *Brain Injury*, 31(9), 1188-1194. <https://doi.org/10.1080/02699052.2017.1288928>
- Alvarez, T. L., Kim, E. H., Vicci, V. R., Dhar, S. K., Biswal, B. B., & Barrett, A. M. (2012). Concurrent Vision Dysfunctions in Convergence Insufficiency With Traumatic Brain Injury. *Optometry and Vision Science*, 89(12), 1740-1751. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e3182772dce>
- Anzalone, A. J., Blueitt, D., Case, T., McGuffin, T., Pollard, K., Garrison, J. C., Jones, M. T., Pavur, R., Turner, S., & Oliver, J. M. (2017). A Positive Vestibular/Ocular Motor Screening (VOMS) Is Associated With Increased Recovery Time After Sports-Related Concussion in Youth and Adolescent Athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 45(2), 474-479. <https://doi.org/10.1177/0363546516668624>
- Applied Science Laboratories. (2007, novembre 28). *Eye Tracker Systems Manual ASL Eye-Trac 6*.
- Astafiev, S. V., Zinn, K. L., Shulman, G. L., & Corbetta, M. (2016). Exploring the physiological correlates of chronic mild traumatic brain injury symptoms. *NeuroImage: Clinical*, 11, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2016.01.004>
- Aubry, M., Cantu, R., Dvorak, J., Graf-Baumann, T., Johnston, K., Kelly, J., Lovell, M., McCrory, P., Meeuwisse, W., & Schamasch, P. (2002). Summary and agreement statement of the first International Conference on Concussion in Sport, Vienna 2001. *British Journal of Sports Medicine*, 36(1), 6-7. <https://doi.org/10.1136/bjsm.36.1.6>

- Ayaz, H., Shewokis, P. A., Scull, L., Libon, D. J., Feldman, S., Eppig, J., Onaral, B., & Heiman-Patterson, T. (2014). Assessment of Prefrontal Cortex Activity in Amyotrophic Lateral Sclerosis Patients with Functional Near Infrared Spectroscopy. *Journal of Neuroscience and Neuroengineering*, 3(1), 41-51. <https://doi.org/10.1166/jnsne.2014.1095>
- Banks, R. E., & Dominguez, D. C. (2019). Neurometabolic Aspects of Sports-Related Concussion. *Semin Speech Lang*, 35, 159-165. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1679887>
- Barnes, G. R. (2008). Cognitive processes involved in smooth pursuit eye movements. *Brain and Cognition*, 68(3), 309-326. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.08.020>
- Barnhart, M., McLeod, T. V., & Bay, R. C. (2024). The Ability of Vestibular and Oculomotor Screenings to Predict Recovery in Patients After Concussion : A Systematic Review of the Literature. *Journal of Athletic Training*, 59(1), 49-65. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0429.22>
- Bell, J. M., Breiding, M. J., & DePadilla, L. (2017). CDC's efforts to improve traumatic brain injury surveillance. *Journal of Safety Research*, 62, 253-256. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.04.002>
- Berger, S., Kaldenberg, J., Selmane, R., & Carlo, S. (2016). Effectiveness of Interventions to Address Visual and Visual-Perceptual Impairments to Improve Occupational Performance in Adults With Traumatic Brain Injury : A Systematic Review. *The American Journal of Occupational Therapy*, 70(3), 7003180010p1-7003180010p7. <https://doi.org/10.5014/ajot.2016.020875>
- Blake, T. A., McKay, C. D., Meeuwisse, W. H., & Emery, C. A. (2016). The impact of concussion on cardiac autonomic function : A systematic review. *Brain Injury*, 30(2), 132-145. <https://doi.org/10.3109/02699052.2015.1093659>
- Bryan, M. A., Rowhani-Rahbar, A., Comstock, R. D., Rivara, F., & on behalf of the Seattle Sports Concussion Research Collaborative. (2016). Sports- and Recreation-Related Concussions in US Youth. *Pediatrics*, 138(1), e20154635. <https://doi.org/10.1542/peds.2015-4635>
- Bunt, S. C., Didehbani, N., LoBue, C., Stokes, M., Heinzelmann, M., Rossetti, H., Miller, S. M., Nakonezny, P. A., Bell, K., Batjer, H., & Cullum, C. M. (2022). Sex differences in reporting

- of concussion symptoms in adults. *The Clinical Neuropsychologist*, 36(6), 1290-1303.
<https://doi.org/10.1080/13854046.2020.1842500>
- Cantu, R. C. (1998). Second-Impact Syndrome. *Clinics in Sports Medicine*, 17(1), 37-44.
[https://doi.org/10.1016/S0278-5919\(05\)70059-4](https://doi.org/10.1016/S0278-5919(05)70059-4)
- Capó-Aponte, J. E., Urosevich, T. G., Temme, L. A., Tarbett, A. K., & Sanghera, N. K. (2012). Visual Dysfunctions and Symptoms During the Subacute Stage of Blast-Induced Mild Traumatic Brain Injury. *Military Medicine*, 177(7), 804-813. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-12-00061>
- Cassidy, J. D., Carroll, L., Peloso, P., Borg, J., Von Holst, H., Holm, L., Kraus, J., & Coronado, V. (2004). Incidence, risk factors and prevention of mild traumatic brain injury : Results of the who collaborating centre task force on mild traumatic brain injury. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 36(0), 28-60. <https://doi.org/10.1080/16501960410023732>
- Cassinat, J. J., Grise, A., Aceto, M., & Wright, V. (2024). Pediatric concussions in contact sports: A 10-year retrospective analysis of mechanisms and associated symptoms. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 12(8), Article 23259671241262009. <https://doi.org/10.1177/23259671241262009>
- Chandran, A., Boltz, A. J., Morris, S. N., Robison, H. J., Nedimyer, A. K., Collins, C. L., & Register-Mihalik, J. K. (2022). Epidemiology of Concussions in National Collegiate Athletic Association (NCAA) Sports : 2014/15-2018/19. *The American Journal of Sports Medicine*, 50(2), 526-536. <https://doi.org/10.1177/03635465211060340>
- Cheng, J., Ammerman, B., Santiago, K., Jivanelli, B., Lin, E., Casey, E., & Ling, D. (2019). Sex-Based Differences in the Incidence of Sports-Related Concussion : Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 11(6), 486-491.
<https://doi.org/10.1177/1941738119877186>
- Chiang Colvin, A., Mullen, J., Lovell, M. R., Vereeke West, R., Collins, M. W., & Groh, M. (2009). The Role of Concussion History and Gender in Recovery from Soccer-Related Concussion. *The American Journal of Sports Medicine*, 37(9), 1699-1704.
<https://doi.org/10.1177/0363546509332497>

- Ciuffreda, K. J., Kapoor, N., Rutner, D., Suchoff, I. B., Han, M. E., & Craig, S. (2007). Occurrence of oculomotor dysfunctions in acquired brain injury : A retrospective analysis. *Optometry - Journal of the American Optometric Association*, 78(4), 155-161. <https://doi.org/10.1016/j.optm.2006.11.011>
- Ciuffreda, K. J., Ludlam, D., & Thiagarajan, P. (2011). Oculomotor diagnostic protocol for the mTBI population. *Optometry - Journal of the American Optometric Association*, 82(2), 61-63. <https://doi.org/10.1016/j.optm.2010.11.011>
- Cobbs, L., Hasanaj, L., Amorapanth, P., Rizzo, J.-R., Nolan, R., Serrano, L., Raynowska, J., Rucker, J. C., Jordan, B. D., Galetta, S. L., & Balcer, L. J. (2017). Mobile Universal Lexicon Evaluation System (MULES) test : A new measure of rapid picture naming for concussion. *Journal of the Neurological Sciences*, 372, 393-398. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2016.10.044>
- Cochrane, G. D., Christy, J. B., Almutairi, A., Busettini, C., Swanson, M. W., & Weise, K. K. (2019). Visuo-oculomotor Function and Reaction Times in Athletes with and without Concussion. *Optometry and Vision Science*, 96(4), 256-265. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001364>
- Collins, M. W., Kontos, A. P., Reynolds, E., Murawski, C. D., & Fu, F. H. (2014). A comprehensive, targeted approach to the clinical care of athletes following sport-related concussion. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 22(2), 235-246. <https://doi.org/10.1007/s00167-013-2791-6>
- Convergence Insufficiency Treatment Trial Study Group. (2008). Randomized Clinical Trial of Treatments for Symptomatic Convergence Insufficiency in Children. *Archives of Ophthalmology*, 126(10), 1336. <https://doi.org/10.1001/archophth.126.10.1336>
- Corbin-Berrigan, L.-A., & Gagnon, I. (2017). Postconcussion Symptoms as a Marker of Delayed Recovery in Children and Youth Who Recently Sustained a Concussion : A Brief Report. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 27(3), 325-327. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000355>
- Covassin, T., Elbin, R. J., Bleecker, A., Lipchik, A., & Kontos, A. P. (2013). Are There Differences in Neurocognitive Function and Symptoms Between Male and Female Soccer Players After

- Concussions? *The American Journal of Sports Medicine*, 41(12), 2890-2895.
<https://doi.org/10.1177/0363546513509962>
- Covassin, T., Elbin, R. J., Harris, W., Parker, T., & Kontos, A. (2012). The Role of Age and Sex in Symptoms, Neurocognitive Performance, and Postural Stability in Athletes After Concussion. *The American Journal of Sports Medicine*, 40(6), 1303-1312.
<https://doi.org/10.1177/0363546512444554>
- Covassin, T., Savage, J. L., Bretzin, A. C., & Fox, M. E. (2018). Sex differences in sport-related concussion long-term outcomes. *International Journal of Psychophysiology*, 132, 9-13.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2017.09.010>
- Covassin, T., Zynda, A. J., Loftin, M. C., Pollard-McGrandy, A. M., Tracey, A. J., & Tomczyk, C. P. (2023). Changes in State and Trait Anxiety Throughout Concussion Recovery in High School– and College–Aged Individuals. *Journal of Athletic Training*, 58(9), 775-780.
<https://doi.org/10.4085/1062-6050-0536.22>
- Crampton, A., Teel, E., Chevignard, M., & Gagnon, I. (2021). Vestibular-ocular reflex dysfunction following mild traumatic brain injury : A narrative review. *Neurochirurgie*, 67(3), 231-237.
<https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2021.01.002>
- Crofts, R., Morris, A. J., Quammen, D. L., Petersell, T. L., Liebel, S. W., Podlog, L., & Fino, P. C. (2025). Confidence to Return to Play After Concussion. *Journal of Sport Rehabilitation*, 34(3), 194-200. <https://doi.org/10.1123/jsr.2023-0383>
- D'Alonzo, B. A., Bretzin, A. C., Wiebe, D. J., Fiore, R., VanPatten, B., Levine, W. N., Desai, N., Wentzel, D. C., Sucheski-Drake, A., Karlson, K. A., Wang, F., Richardson, L., Port, N. L., Saffarian, M., Vesci, B., Gay, M., Day, C., Putukian, M., Esopenko, C., ... Arlis-Mayor, S. (2022). The Role of Reported Affective Symptoms and Anxiety in Recovery Trajectories After Sport-Related Concussion. *The American Journal of Sports Medicine*, 50(8), 2258-2270. <https://doi.org/10.1177/03635465221098112>
- Davies, E. C., Henderson, S., Balcer, L. J., & Galetta, S. L. (2012). Residency Training : The King-Devick test and sleep deprivation: Study in pre- and post-call neurology residents. *Neurology*, 78(17). <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e318251833d>

- Davis, G. A., Echemendia, R. J., Ahmed, O. H., Anderson, V., Blauwet, C., Brett, B. L., Broglio, S., Bruce, J. M., Burma, J. S., Gioia, G. A., Giza, C. C., Guskiewicz, K. M., Harmon, K. G., Herring, S., Makdissi, M., Master, C. L., McCrea, M., Valovich McLeod, T. C., Meehan, W. P., ... Zemek, R. (2023). Introducing the Child Sport Concussion Assessment Tool 6 (Child SCAT6). *British Journal of Sports Medicine*, 57(11), 632-635. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106853>
- Davis, G. A., Patricios, J. S., Purcell, L. K., Anderson, V., Gioia, G. A., Giza, C. C., Yeates, K. O., Ahmed, O. H., Blauwet, C., Corwin, D., Master, C. L., Schneider, G. M., Van Ierssel, J., Echemendia, R. J., Fremont, P., Fuller, G. W., Herring, S., Harmon, K. G., Holte, K., ... Schneider, K. J. (2023). Introducing the Child Sport Concussion Office Assessment Tool 6 (Child SCOAT6). *British Journal of Sports Medicine*, 57(11), 668-671. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106858>
- Davis-Hayes, C., Gossett, J. D., Levine, W. N., Shams, T., Harada, J., Mitnick, J., & Noble, J. (2017). Sex-specific Outcomes and Predictors of Concussion Recovery. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 25(12), 818-828. <https://doi.org/10.5435/jaaos-d-17-00276>
- Diaz, D. (2014). Management of Athletes with Postconcussion Syndrome. *Seminars in Speech and Language*, 35(03), 204-210. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1384682>
- Dutta, P. (2023). Characteristics of binocular vision and oculomotor function among sports-concussed athletes. *Indian Journal of Ophthalmology*, 71(5), 2076-2082. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_1932_22
- Echemendia, R. J., Brett, B. L., Broglio, S., Davis, G. A., Giza, C. C., Guskiewicz, K. M., Harmon, K. G., Herring, S., Howell, D. R., Master, C. L., Valovich McLeod, T. C., McCrea, M., Naidu, D., Patricios, J., Putukian, M., Walton, S. R., Schneider, K. J., Burma, J. S., & Bruce, J. M. (2023). Introducing the Sport Concussion Assessment Tool 6 (SCAT6). *British Journal of Sports Medicine*, 57(11), 619-621. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106849>
- Echemendia, R. J., Brett, B. L., Broglio, S., Davis, G. A., Giza, C. C., Guskiewicz, K. M., Harmon, K. G., Herring, S., Howell, D. R., Master, C., McCrea, M., Naidu, D., Patricios, J. S., Putukian, M., Walton, S. R., Schneider, K. J., Burma, J. S., & Bruce, J. M. (2023). Sport Concussion

- Assessment Tool 6 (SCAT6). *British Journal of Sports Medicine*, 57(11), 622-631.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-107036>
- Elbin, R. J., Eagle, S. R., Marchetti, G. F., Anderson, M., Schatz, P., Womble, M. N., Stephenson, K., Covassin, T., Collins, M. W., Mucha, A., & Kontos, A. P. (2022). Using change scores on the vestibular ocular motor screening (VOMS) tool to identify concussion in adolescents. *Applied Neuropsychology: Child*, 11(4), 591-597.
<https://doi.org/10.1080/21622965.2021.1911806>
- Elbin, R. J., Kontos, A. P., Kegel, N., Johnson, E., Burkhart, S., & Schatz, P. (2013). Individual and Combined Effects of LD and ADHD on Computerized Neurocognitive Concussion Test Performance : Evidence for Separate Norms. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 28(5), 476-484. <https://doi.org/10.1093/arclin/act024>
- Elbin, R. J., Sufrinko, A., Anderson, M. N., Mohler, S., Schatz, P., Covassin, T., Mucha, A., Collins, M. W., & Kontos, A. P. (2018). Prospective Changes in Vestibular and Ocular Motor Impairment After Concussion. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 42(3), 142-148.
<https://doi.org/10.1097/NPT.0000000000000230>
- Ellis, M. J., Cordingley, D. M., Vis, S., Reimer, K. M., Leiter, J., & Russell, K. (2017). Clinical predictors of vestibulo-ocular dysfunction in pediatric sports-related concussion. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*, 19(1), 38-45. <https://doi.org/10.3171/2016.7.PEDS16310>
- Ellis, M. J., Cordingley, D., Vis, S., Reimer, K., Leiter, J., & Russell, K. (2015). Vestibulo-ocular dysfunction in pediatric sports-related concussion. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*, 16(3), 248-255. <https://doi.org/10.3171/2015.1.PEDS14524>
- Fallon, S., Akhand, O., Hernandez, C., Galetta, M. S., Hasanaj, L., Martone, J., Webb, N., Drattell, J., Amorapanth, P., Rizzo, J.-R., Nolan-Kenney, R., Serrano, L., Rucker, J. C., Cardone, D., Galetta, S. L., & Balcer, L. J. (2019). MULES on the sidelines : A vision-based assessment tool for sports-related concussion. *Journal of the Neurological Sciences*, 402, 52-56.
<https://doi.org/10.1016/j.jns.2019.04.036>
- Ferris, L. M., Kontos, A. P., Eagle, S. R., Elbin, R. J., Collins, M. W., Mucha, A., McAllister, T. W., Broglio, S. P., McCreary, M., Pasquina, P. F., & Port, N. L. (2022). Utility of VOMS, SCAT3, and ImpACT Baseline Evaluations for Acute Concussion Identification in Collegiate Athletes :

- Findings From the NCAA-DoD Concussion Assessment, Research and Education (CARE) Consortium. *The American Journal of Sports Medicine*, 50(4), 1106-1119. <https://doi.org/10.1177/03635465211072261>
- Fetter, M. (2007). Vestibulo-ocular reflex. In *Neuro-ophthalmology : Neuronal control of eye movements* (Vol. 40, p. p.35-51).
- Field, M., Collins, M. W., Lovell, M. R., & Maroon, J. (2003). Does age play a role in recovery from sports-related concussion? A comparison of high school and collegiate athletes. *The Journal of Pediatrics*, 142(5), 546-553. <https://doi.org/10.1067/mpd.2003.190>
- Fischer, B., Biscaldi, M., & Gezeck, S. (1997). On the development of voluntary and reflexive components in human saccade generation. *Brain Research*, 754(1-2), 285-297. [https://doi.org/10.1016/S0006-8993\(97\)00094-2](https://doi.org/10.1016/S0006-8993(97)00094-2)
- Frommer, L. J., Gurka, K. K., Cross, K. M., Ingersoll, C. D., Comstock, R. D., & Saliba, S. A. (2011). Sex Differences in Concussion Symptoms of High School Athletes. *Journal of Athletic Training*, 46(1), 76-84. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-46.1.76>
- Gagné, M., Tremblay, B., & Belley-Ranger, E. (2019). *Portrait des hospitalisations attribuables aux traumatismes d'origine récréative et sportive survenues au Québec de 2007 à 2015*. Institut national de santé publique du Québec. https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2524_hospitalisation_traumatismes_origine_recreative_sportive.pdf
- Galarneau, J.-M., Eliason, P., & Emery, C. (2024). 12.5 Female players are at the greatest risk of concussion and recurrent concussion in youth ice hockey : Time for a focus on concussion prevention for female players. *British Journal of Sports Medicine*, 58(Suppl 1), A153. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-concussion.400>
- Galetta, K. M., Brandes, L. E., Maki, K., Dziemianowicz, M. S., Laudano, E., Allen, M., Lawler, K., Sennett, B., Wiebe, D., Devick, S., Messner, L. V., Galetta, S. L., & Balcer, L. J. (2011). The King–Devick test and sports-related concussion : Study of a rapid visual screening tool in a collegiate cohort. *Journal of the Neurological Sciences*, 309(1-2), 34-39. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2011.07.039>

- Galetta, K. M., Liu, M., Leong, D. F., Ventura, R. E., Galetta, S. L., & Balcer, L. J. (2016). The King-Devick test of rapid number naming for concussion detection: Meta-analysis and systematic review of the literature. *Concussion*, 1(2). <https://doi.org/10.2217/cnc.15.8>
- Gilbert, F. C., Burdette, G. T., Joyner, A. B., Llewellyn, T. A., & Buckley, T. A. (2016). Association Between Concussion and Lower Extremity Injuries in Collegiate Athletes. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 8(6), 561-567. <https://doi.org/10.1177/1941738116666509>
- Giza, C. C., & Hovda, D. A. (2014). The New Neurometabolic Cascade of Concussion. *Neurosurgery*, 75(Supplement 4), S24-S33. <https://doi.org/10.1227/NEU.0000000000000505>
- Glendon, K., Blenkinsop, G., Belli, A., & Pain, M. (2021). Prospective study with specific Re-Assessment time points to determine time to recovery following a Sports-Related Concussion in university-aged student-athletes. *Physical Therapy in Sport*, 52, 287-296. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.10.008>
- Gubanich, P. J., Gupta, R., Slattery, E., & Logan, K. (2019). Performance Times for the King-Devick Test in Children and Adolescents. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 29(5), 374-378. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000670>
- Gunasekaran, P., Hodge, C., Rose, K., & Fraser, C. (2019). Persistent visual disturbances after concussion. *Australian Journal of General Practice*, 48(8), 531-536. <https://doi.org/10.31128/AJGP-03-19-4876>
- Hamel, D., Tremblay, B., & Nolin, B. (2019). *Étude des blessures subies au cours de la pratique d'activités récréatives et sportives au Québec en 2015-2016* (p. 73). Institut national de santé publique du Québec. https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2525_blessures_activites_recreatives_sportives.pdf
- Harmon, K. G., Clugston, J. R., Dec, K., Hainline, B., Herring, S., Kane, S. F., Kontos, A. P., Leddy, J. J., McCrea, M., Poddar, S. K., Putukian, M., Wilson, J. C., & Roberts, W. O. (2019). American Medical Society for Sports Medicine position statement on concussion in sport. *British Journal of Sports Medicine*, 53(4), 213-225. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100338>

- Harmon, K. G., Whelan, B. M., Aukerman, D. F., Bohr, A. D., Nerrie, J. M., Elkinton, H. A., Holliday, M., Poddar, S. K., Chrisman, S. P. D., & McQueen, M. B. (2022). Diagnostic accuracy and reliability of sideline concussion evaluation : A prospective, case-controlled study in college athletes comparing newer tools and established tests. *British Journal of Sports Medicine*, 56(3), 144-150. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103840>
- Hecimovich, M., Murphy, M., Chivers, P., & Stock, P. (2022). Evaluation and Utility of the King-Devick With Integrated Eye Tracking as a Diagnostic Tool for Sport-Related Concussion. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 10(12), 23259671221142255. <https://doi.org/10.1177/23259671221142255>
- Henry, L. C., Elbin, R. J., Collins, M. W., Marchetti, G., & Kontos, A. P. (2016). Examining Recovery Trajectories After Sport-Related Concussion With a Multimodal Clinical Assessment Approach. *Neurosurgery*, 78(2), 232-241. <https://doi.org/10.1227/NEU.0000000000001041>
- Herman, D. C., Jones, D., Harrison, A., Moser, M., Tillman, S., Farmer, K., Pass, A., Clugston, J. R., Hernandez, J., & Chmielewski, T. L. (2017). Concussion May Increase the Risk of Subsequent Lower Extremity Musculoskeletal Injury in Collegiate Athletes. *Sports Medicine*, 47(5), 1003-1010. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0607-9>
- Hoppes, C. W., Garcia De La Huerta, T., Faull, S., Weightman, M., Stojak, M., Dibble, L., Pelo, R. M., Fino, P. C., Richard, H., Lester, M., & King, L. A. (2025). Utility of the Vestibular/Ocular Motor Screening in Military Medicine : A Systematic Review. *Military Medicine*, 190(5-6), e969-e977. <https://doi.org/10.1093/milmed/usae494>
- Hunfalvay, M., Murray, N. P., Mani, R., & Carrick, F. R. (2021). Smooth Pursuit Eye Movements as a Biomarker for Mild Concussion within 7-Days of Injury. *Brain Injury*, 35(14), 1682-1689. <https://doi.org/10.1080/02699052.2021.2012825>
- Hutton, S. B. (2008). Cognitive control of saccadic eye movements. *Brain and Cognition*, 68(3), 327-340. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.08.021>
- Iverson, G. L. (2006). Complicated vs uncomplicated mild traumatic brain injury : Acute neuropsychological outcome. *Brain Injury*, 20(13-14), 1335-1344. <https://doi.org/10.1080/02699050601082156>

- Kaae, C., Cadigan, K., Lai, K., & Theis, J. (2022). Vestibulo-ocular dysfunction in mTBI: Utility of the VOMS for evaluation and management—A review. *NeuroRehabilitation*, 50(3), 279-296. MEDLINE with Full Text. <https://doi.org/10.3233/NRE-228012>
- Kaas, J. H. (2008). The evolution of the complex sensory and motor systems of the human brain. *Brain Research Bulletin*, 75(2-4), 384-390. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2007.10.009>
- Kaas, J. H. (2017). Changing Concepts of Visual Cortex Organization in Primates. In J. W. Brown (Éd.), *Neuropsychology of Visual Perception* (1^{re} éd., p. 3-32). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315441849-1>
- Karlin, A. M. (2011). Concussion in the Pediatric and Adolescent Population : “Different Population, Different Concerns”. *Physical Medicine & Rehabilitation Journal*, 3(10S2). <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2011.07.015>
- Kaufman, D. R., Puckett, M. J., Smith, M. J., Wilson, K. S., Cheema, R., & Landers, M. R. (2014). Test–retest reliability and responsiveness of gaze stability and dynamic visual acuity in high school and college football players. *Physical Therapy in Sport*, 15(3), 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2013.10.002>
- Kerr, Z. Y., Roos, K. G., Djoko, A., Dalton, S. L., Broglio, S. P., Marshall, S. W., & Dompier, T. P. (2017). Epidemiologic Measures for Quantifying the Incidence of Concussion in National Collegiate Athletic Association Sports. *Journal of Athletic Training*, 52(3), 167-174. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.6.05>
- King, A., & Devick, S. (1976). *The Proposed King-Devick Test and Its Relation to the Pierce Saccade Test and Reading Levels*.
- King, D., Clark, T., & Gissane, C. (2012). Use of a rapid visual screening tool for the assessment of concussion in amateur rugby league : A pilot study. *Journal of the Neurological Sciences*, 320(1-2), 16-21. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2012.05.049>
- Knell, G., Caze, T., & Burkhart, S. O. (2021). Evaluation of the vestibular and ocular motor screening (VOMS) as a prognostic tool for protracted recovery following paediatric sports-related concussion. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 7(1), e000970. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2020-000970>

- Kontos, A. P., Deitrick, J. M., Collins, M. W., & Mucha, A. (2017). Review of Vestibular and Oculomotor Screening and Concussion Rehabilitation. *Journal of Athletic Training*, 52(3), 256-261. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.11.05>
- Kontos, A. P., Eagle, S. R., Marchetti, G., Sinnott, A., Mucha, A., Port, N., Ferris, L. M., Elbin, R. J., Clugston, J. R., Ortega, J., Broglio, S. P., McAllister, T., McCrea, M., Pasquina, P., CARE Consortium Site Investigators, Brooks, A., Buckley, T., Mihalik, J., Miles, C., & Collins, M. W. (2021). Discriminative Validity of Vestibular Ocular Motor Screening in Identifying Concussion Among Collegiate Athletes : A National Collegiate Athletic Association–Department of Defense Concussion Assessment, Research, and Education Consortium Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 49(8), 2211-2217. <https://doi.org/10.1177/03635465211012359>
- Kontos, A. P., Elbin, R. J., Lau, B., Simensky, S., Freund, B., French, J., & Collins, M. W. (2013). Posttraumatic Migraine as a Predictor of Recovery and Cognitive Impairment After Sport-Related Concussion. *The American Journal of Sports Medicine*, 41(7), 1497-1504. <https://doi.org/10.1177/0363546513488751>
- Kontos, A. P., Elbin, R. J., Schatz, P., Covassin, T., Henry, L., Pardini, J., & Collins, M. W. (2012). A Revised Factor Structure for the Post-Concussion Symptom Scale : Baseline and Postconcussion Factors. *The American Journal of Sports Medicine*, 40(10), 2375-2384. <https://doi.org/10.1177/0363546512455400>
- Kontos, A. P., Jorgensen-Wagers, K., Trbovich, A. M., Ernst, N., Emami, K., Gillie, B., French, J., Holland, C., Elbin, R. J., & Collins, M. W. (2020). Association of Time Since Injury to the First Clinic Visit With Recovery Following Concussion. *JAMA Neurology*, 77(4), 435. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2019.4552>
- La Fountaine, M. F., Toda, M., Testa, A. J., & Hill-Lombardi, V. (2016). Autonomic Nervous System Responses to Concussion : Arterial Pulse Contour Analysis. *Frontiers in Neurology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fneur.2016.00013>
- Langlois, J. A., Rutland-Brown, W., & Wald, M. M. (2006). The Epidemiology and Impact of Traumatic Brain Injury : A Brief Overview. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 21(5), 375-378. <https://doi.org/10.1097/00001199-200609000-00001>

- Lau, B. C., Collins, M. W., & Lovell, M. R. (2011). Sensitivity and Specificity of Subacute Computerized Neurocognitive Testing and Symptom Evaluation in Predicting Outcomes After Sports-Related Concussion. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(6), 1209-1216. <https://doi.org/10.1177/0363546510392016>
- Lau, B. C., Kontos, A. P., Collins, M. W., Mucha, A., & Lovell, M. R. (2011). Which On-field Signs/Symptoms Predict Protracted Recovery From Sport-Related Concussion Among High School Football Players? *The American Journal of Sports Medicine*, 39(11), 2311-2318. <https://doi.org/10.1177/0363546511410655>
- Leddy, J. J., Burma, J. S., Toomey, C. M., Hayden, A., Davis, G. A., Babl, F. E., Gagnon, I., Giza, C. C., Kurowski, B. G., Silverberg, N. D., Willer, B., Ronksley, P. E., & Schneider, K. J. (2023). Rest and exercise early after sport-related concussion : A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 57(12), 762-770. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106676>
- Leddy, J. J., Kozlowski, K., Donnelly, J. P., Pendergast, D. R., Epstein, L. H., & Willer, B. (2010). A Preliminary Study of Subsymptom Threshold Exercise Training for Refractory Post-Concussion Syndrome. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 20(1), 21-27. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3181c6c22c>
- Ledoux, A.-A., Tang, K., Yeates, K. O., Pusic, M. V., Boutis, K., Craig, W. R., Gravel, J., Freedman, S. B., Gagnon, I., Gioia, G. A., Osmond, M. H., Zemek, R. L., & for the Pediatric Emergency Research Canada (PERC) Concussion Team. (2019). Natural Progression of Symptom Change and Recovery From Concussion in a Pediatric Population. *JAMA Pediatrics*, 173(1), e183820. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2018.3820>
- Lin, T. P., Adler, C. H., Hentz, J. G., Balcer, L. J., Galetta, S. L., & Devick, S. (2014). Slowing of number naming speed by King–Devick Test in Parkinson’s disease. *Parkinsonism & Related Disorders*, 20(2), 226-229. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2013.10.009>
- Lincoln, A. E., Caswell, S. V., Almquist, J. L., Dunn, R. E., Norris, J. B., & Hinton, R. Y. (2011). Trends in Concussion Incidence in High School Sports : A Prospective 11-Year Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(5), 958-963. <https://doi.org/10.1177/0363546510392326>

- Liu, G. T., Volpe, N. J., & Galetta, S. (2010). *Neuro-ophthalmology : Diagnosis and management* (2nd ed). Saunders Elsevier.
- Lucas, S., & Blume, H. K. (2017). Sport-Related Headache. *Neurologic Clinics*, 35(3), 501-521. <https://doi.org/10.1016/j.ncl.2017.03.012>
- Lynall, R. C., Mauntel, T. C., Padua, D. A., & Mihalik, J. P. (2015). Acute Lower Extremity Injury Rates Increase after Concussion in College Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(12), 2487-2492. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000716>
- Makdissi, M., Darby, D., Maruff, P., Ugoni, A., Brukner, P., & McCrory, P. R. (2010). Natural History of Concussion in Sport : Markers of Severity and Implications for Management. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(3), 464-471. <https://doi.org/10.1177/0363546509349491>
- Marar, M., McIlvain, N. M., Fields, S. K., & Comstock, R. D. (2012). Epidemiology of Concussions Among United States High School Athletes in 20 Sports. *The American Journal of Sports Medicine*, 40(4), 747-755. <https://doi.org/10.1177/0363546511435626>
- Master, C. L., Bacal, D., Grady, M. F., Hertle, R., Shah, A. S., Strominger, M., Whitecross, S., Bradford, G. E., Lum, F., & Donahue, S. P. (2022). Vision and Concussion : Symptoms, Signs, Evaluation, and Treatment. *Pediatrics*, 150(2). <https://doi.org/10.1542/peds.2021-056047>
- Master, C. L., Master, S. R., Wiebe, D. J., Storey, E. P., Lockyer, J. E., Podolak, O. E., & Grady, M. F. (2018). Vision and Vestibular System Dysfunction Predicts Prolonged Concussion Recovery in Children. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 28(2), 139-145. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000507>
- Master, C. L., Scheiman, M., Gallaway, M., Goodman, A., Robinson, R. L., Master, S. R., & Grady, M. F. (2016). Vision Diagnoses Are Common After Concussion in Adolescents. *Clinical Pediatrics*, 55(3), 260-267. <https://doi.org/10.1177/0009922815594367>
- McClincy, M. P., Lovell, M. R., Pardini, J., Collins, M. W., & Spore, M. K. (2006). Recovery from sports concussion in high school and collegiate athletes. *Brain Injury*, 20(1), 33-39. <https://doi.org/10.1080/02699050500309817>

- McCrea, M., Broglio, S., McAllister, T., Zhou, W., Zhao, S., Katz, B., Kudela, M., Harezlak, J., Nelson, L., Meier, T., Marshall, S. W., & Guskiewicz, K. M. (2020). Return to play and risk of repeat concussion in collegiate football players : Comparative analysis from the NCAA Concussion Study (1999–2001) and CARE Consortium (2014–2017). *British Journal of Sports Medicine*, 54(2), 102-109. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100579>
- McCrea, M., Guskiewicz, K., Randolph, C., Barr, W. B., Hammeke, T. A., Marshall, S. W., & Kelly, J. P. (2009). Effects of a symptom-free waiting period on clinical outcome and risk of reinjury after sport-related concussion. *Neurosurgery*, 65(5), 876-883. <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000350155.89800.00>
- McCrory, P., Ariens, M., & Berkovic, S. F. (2000). The Nature and Duration of Acute Concussive Symptoms in Australian Football: *Clinical Journal of Sport Medicine*, 10(4), 235-238. <https://doi.org/10.1097/00042752-200010000-00002>
- McCrory, P., & Berkovic, S. F. (2001). Concussion : The history of clinical and pathophysiological concepts and misconceptions. *Neurology*, 57(12), 2283-2289. <https://doi.org/10.1212/WNL.57.12.2283>
- McCrory, P., Johnston, K., Aubry, M., Cantu, R., Dvorak, J., Graf-Baumann, T., Kelly, J., Lovell, M., & Schamasch, P. (2005). Summary and agreement statement of the 2nd International Conference on Concussion in Sport, Prague 2004. *British Journal of Sports Medicine*, 39(Supplement 1), i78-i86. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.018614>
- McCrory, P., Meeuwisse, W., Dvorak, J., Aubry, M., Bailes, J., Broglio, S., Cantu, R. C., Cassidy, D., Echemendia, R. J., Castellani, R. J., Davis, G. A., Ellenbogen, R., Emery, C., Engebretsen, L., Feddermann-Demont, N., Giza, C. C., Guskiewicz, K. M., Herring, S., Iverson, G. L., ... Vos, P. E. (2017). Consensus statement on concussion in sport—The 5th international conference on concussion in sport held in Berlin, October 2016. *British Journal of Sports Medicine*, bjsports-2017-097699. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097699>
- McCrory, P., Meeuwisse, W., Johnston, K., Dvorak, J., Aubry, M., Molloy, M., & Cantu, R. (2009). Consensus Statement on Concussion in Sport : The 3rd International Conference on Concussion in Sport held in Zurich, November 2008. *British Journal of Sports Medicine*, 43(Suppl_1), i76-i84. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.058248>

- McLendon, L. A., Kralik, S. F., Grayson, P. A., & Golomb, M. R. (2016). The Controversial Second Impact Syndrome : A Review of the Literature. *Pediatric Neurology*, 62, 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2016.03.009>
- Meeuwisse, W. H., Schneider, K. J., Dvořák, J., Omu, O. (Tobi), Finch, C. F., Hayden, K. A., & McCrory, P. (2017). The Berlin 2016 process : A summary of methodology for the 5th International Consensus Conference on Concussion in Sport. *British Journal of Sports Medicine*, 51(11), 873-876. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097569>
- Mucha, A., Collins, M. W., Elbin, R. J., Furman, J. M., Troutman-Enseki, C., DeWolf, R. M., Marchetti, G., & Kontos, A. P. (2014). A Brief Vestibular/Ocular Motor Screening (VOMS) Assessment to Evaluate Concussions : Preliminary Findings. *The American Journal of Sports Medicine*, 42(10), 2479-2486. <https://doi.org/10.1177/0363546514543775>
- Mullally, W. J. (2017). Concussion. *The American Journal of Medicine*, 130(8), 885-892. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2017.04.016>
- Munoz, D. P., Armstrong, I., & Coe, B. (2007). Using eye movements to probe development and dysfunction. In *Eye Movements* (p. 99-124). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008044980-7/50007-0>
- Murray, N. G., Ambati, V. N. P., Contreras, M. M., Salvatore, A. P., & Reed-Jones, R. J. (2014). Assessment of oculomotor control and balance post-concussion : A preliminary study for a novel approach to concussion management. *Brain Injury*, 28(4), 496-503. <https://doi.org/10.3109/02699052.2014.887144>
- Nielsen, K., & Faulkner, J. (2025). Evaluating the complex systems approach to persisting post-concussion symptoms. *Theory & Psychology*, 35(1), 17-39. <https://doi.org/10.1177/09593543241287749>
- Patlan, I., Gamelin, G., Khalaj, K., Castonguay, T., & Dover, G. (2024). Athlete Fear Avoidance, Depression, and Anxiety Are Associated with Acute Concussion Symptoms in Athletes. *Journal of Clinical Medicine*, 13(8), 2401. <https://doi.org/10.3390/jcm13082401>
- Patricios, J. S., Davis, G. A., Ahmed, O. H., Blauwet, C., Schneider, G. M., Purcell, L. K., Echemendia, R. J., Fremont, P., Fuller, G. W., Herring, S. A., Harmon, K. G., Loosemore, M., Makdissi, M., O'Halloran, P., Putukian, M., Turner, M., Webborn, N., Yeates, K. O., Van Ierssel, J., &

- Schneider, K. J. (2023). Introducing the Sport Concussion Office Assessment Tool 6 (SCOAT6). *British Journal of Sports Medicine*, 57(11), 648-650. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106860>
- Patricios, J. S., Schneider, G. M., Van Ierssel, J., Purcell, L. K., Davis, G. A., Echemendia, R. J., Fremont, P., Fuller, G. W., Herring, S. A., Harmon, K. G., Holte, K., Loosemore, M., Makdissi, M., McCrea, M., Meehan, W. P., O'Halloran, P., Premji, Z., Putukian, M., Shill, I. J., ... Schneider, K. J. (2023). Beyond acute concussion assessment to office management : A systematic review informing the development of a Sport Concussion Office Assessment Tool (SCOAT6) for adults and children. *British Journal of Sports Medicine*, 57(11), 737-748. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106897>
- Patricios, J. S., Schneider, K. J., Dvorak, J., Ahmed, O. H., Blauwet, C., Cantu, R. C., Davis, G. A., Echemendia, R. J., Makdissi, M., McNamee, M., Broglio, S., Emery, C. A., Feddermann-Demont, N., Fuller, G. W., Giza, C. C., Guskiewicz, K. M., Hainline, B., Iverson, G. L., Kutcher, J. S., ... Meeuwisse, W. (2023). Consensus statement on concussion in sport : The 6th International Conference on Concussion in Sport–Amsterdam, October 2022. *British Journal of Sports Medicine*, 57(11), 695. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106898>
- Pierpoint, L. A., & Collins, C. (2021). Epidemiology of Sport-Related Concussion. *Clinics in Sports Medicine*, 40(1), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2020.08.013>
- Pillai, C., & Gittinger, J. W. (2017). Vision Testing in the Evaluation of Concussion. *Seminars in Ophthalmology*, 32(1), 144-152. <https://doi.org/10.1080/08820538.2016.1228412>
- Purcell, L., Harvey, J., & Seabrook, J. A. (2016). Patterns of Recovery Following Sport-Related Concussion in Children and Adolescents. *Clinical Pediatrics*, 55(5), 452-458. <https://doi.org/10.1177/0009922815589915>
- Putukian, M., Aubry, M., & McCrory, P. (2009). Return to play after sports concussion in elite and non-elite athletes? *British Journal of Sports Medicine*, 43(Suppl 1), i28-i31. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2009.058230>
- Salman, M. S., Sharpe, J. A., Lillakas, L., Dennis, M., & Steinbach, M. J. (2006). Smooth pursuit eye movements in children. *Experimental Brain Research*, 169(1), 139-143. <https://doi.org/10.1007/s00221-005-0292-7>

- Santo, A. L., Race, M. L., & Teel, E. F. (2020). Near Point of Convergence Deficits and Treatment Following Concussion : A Systematic Review. *Journal of Sport Rehabilitation*, 29(8), 1179-1193. <https://doi.org/10.1123/jsr.2019-0428>
- Schatz, P., Moser, R. S., Covassin, T., & Karpf, R. (2011). Early Indicators of Enduring Symptoms in High School Athletes With Multiple Previous Concussions. *Neurosurgery*, 68(6), 1562-1567. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e31820e382e>
- Silverberg, N. D., Iverson, G. L., Cogan, A., Dams-O'Connor, K., Delmonico, R., Graf, M. J. P., Iaccarino, M. A., Kajankova, M., Kamins, J., McCulloch, K. L., McKinney, G., Nagele, D., Panenka, W. J., Rabinowitz, A. R., Reed, N., Wethe, J. V., Whitehair, V., Anderson, V., Arciniegas, D. B., ... Zemek, R. (2023). The American Congress of Rehabilitation Medicine Diagnostic Criteria for Mild Traumatic Brain Injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 104(8), 1343-1355. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2023.03.036>
- Silverberg, N. D., Lange, R. T., & Iverson, G. L. (2021). Concussion and mild traumatic brain injury : Definitions, distinctions, and diagnostic criteria. In *Manual of traumatic brain injury : Assessment and management* (p. 46-53). Spring.
- Snegireva, N., Derman, W., Patricios, J., & Welman, K. E. (2018). Eye tracking technology in sports-related concussion : A systematic review and meta-analysis. *Physiological Measurement*, 39(12), 12TR01. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/aaef44>
- Statistiques Canada. (2024). *Les commotions cérébrales se produisent également à la maison*. <https://www.statcan.gc.ca/o1/fr/plus/5563-les-commotions-cerebrales-se-produisent-egalement-la-maison>
- Stepanek, J., Pradhan, G. N., Cocco, D., Smith, B. E., Bartlett, J., Studer, M., Kuhn, F., & Cevette, M. J. (2014). Acute Hypoxic Hypoxia and Isocapnic Hypoxia Effects on Oculometric Features. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 85(7), 700-707. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3645.2014>
- Sufrinko, A. M., Marchetti, G. F., Cohen, P. E., Elbin, R. J., Re, V., & Kontos, A. P. (2017). Using Acute Performance on a Comprehensive Neurocognitive, Vestibular, and Ocular Motor Assessment Battery to Predict Recovery Duration After Sport-Related Concussions. *The*

- American Journal of Sports Medicine*, 45(5), 1187-1194.
<https://doi.org/10.1177/0363546516685061>
- Symons, G. F., O'Brien, W. T., Abel, L., Chen, Z., Costello, D. M., O'Brien, T. J., Kolbe, S., Fielding, J., Shultz, S. R., & Clough, M. (2023). Monitoring the acute and subacute recovery of cognitive ocular motor changes after a sports-related concussion. *Cerebral Cortex*, 33(9), 5276-5288. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhac416>
- Teramoto, M., Grover, E. B., Cornwell, J., Zhang, R., Boo, M., Ghajar, J., & Lumba-Brown, A. (2022). Sex Differences in Common Measures of Concussion in College Athletes. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 37(4), E299-E309.
<https://doi.org/10.1097/HTR.0000000000000732>
- Thomas, C. E., Thomas, S. H., & Bloom, B. (2023). Vestibular/ocular motor screening (VOMS) score for identification of concussion in cases of non-severe head injury : A systematic review. *Journal of Concussion*, 7, 20597002231160941.
<https://doi.org/10.1177/20597002231160941>
- Torres, D. M., Galetta, K. M., Phillips, H. W., Dziemianowicz, E. M. S., Wilson, J. A., Dorman, E. S., Laudano, E., Galetta, S. L., & Balcer, L. J. (2013). Sports-related concussion : Anonymous survey of a collegiate cohort. *Neurology Clinical Practice*, 3(4), 279-287.
<https://doi.org/10.1212/CPJ.0b013e3182a1ba22>
- Veliz, P., McCabe, S. E., Eckner, J. T., & Schulenberg, J. E. (2017). Prevalence of Concussion Among US Adolescents and Correlated Factors. *JAMA*, 318(12), 1180.
<https://doi.org/10.1001/jama.2017.9087>
- Veliz, P., McCabe, S. E., Eckner, J. T., & Schulenberg, J. E. (2021). Trends in the Prevalence of Concussion Reported by US Adolescents, 2016-2020. *JAMA*, 325(17), 1789.
<https://doi.org/10.1001/jama.2021.1538>
- Ventura, R. E., Balcer, L. J., & Galetta, S. L. (2014). The neuro-ophthalmology of head trauma. *The Lancet Neurology*, 13(10), 1006-1016. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(14\)70111-5](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(14)70111-5)
- Ventura, R. E., Jancuska, J. M., Balcer, L. J., & Galetta, S. L. (2015). Diagnostic Tests for Concussion : Is Vision Part of the Puzzle? *Journal of Neuro-Ophthalmology*, 35(1).
<https://journals.lww.com/jneuro->

ophthalmology/fulltext/2015/03000/diagnostic_tests_for_concussion__is_vision_part_of.18.aspx

- Wallace, J., Covassin, T., & Beidler, E. (2017). Sex Differences in High School Athletes' Knowledge of Sport-Related Concussion Symptoms and Reporting Behaviors. *Journal of Athletic Training, 52*(7), 682-688. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-52.3.06>
- Waltzman, D., Womack, L. S., Thomas, K. E., & Sarmiento, K. (2020). Trends in emergency department visits for contact sports-related traumatic brain injuries among children — United States, 2001–2018. *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report, 69*(27), 870–874. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6927a4>
- Wasserman, E. B., Kerr, Z. Y., Zuckerman, S. L., & Covassin, T. (2016). Epidemiology of Sports-Related Concussions in National Collegiate Athletic Association Athletes From 2009-2010 to 2013-2014 : Symptom Prevalence, Symptom Resolution Time, and Return-to-Play Time. *The American Journal of Sports Medicine, 44*(1), 226-233. <https://doi.org/10.1177/0363546515610537>
- Whelan, B. M., Gause, E. L., Ortega, J. D., Mills, B. M., Schmidt, J. D., Kaminski, T. W., Buckley, T. A., Breedlove, K. M., Kontos, A. P., Clugston, J. R., Goldman, J. T., Harmon, K. G., McCrea, M. A., McAllister, T. W., Broglio, S. P., & Chrisman, S. P. D. (2022). King-Devick testing and concussion recovery time in collegiate athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport, 25*(11), 930-934. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2022.08.012>
- White, O. B., & Fielding, J. (2012). Cognition and Eye Movements : Assessment of Cerebral Dysfunction. *Journal of Neuro-Ophthalmology, 32*(3), 266-273. <https://doi.org/10.1097/WNO.0b013e3182688230>
- Whitney, S. L., Eagle, S. R., Marchetti, G., Mucha, A., Collins, M. W., Kontos, A. P., & CARE Consortium Investigators. (2020). Association of acute vestibular/ocular motor screening scores to prolonged recovery in collegiate athletes following sport-related concussion. *Brain Injury, 34*(6), 842-847. <https://doi.org/10.1080/02699052.2020.1755055>
- Wiebe, D. J., Comstock, R. D., & Nance, M. L. (2011). Concussion research : A public health priority. *Injury Prevention, 17*(1), 69-70. <https://doi.org/10.1136/ip.2010.031211>

- Willer, B., & Leddy, J. J. (2006). Management of concussion and post-concussion syndrome. *Current Treatment Options in Neurology*, 8(5), 415-426. <https://doi.org/10.1007/s11940-006-0031-9>
- Worts, P. R., Haider, M. N., Mason, J. R., & Schatz, P. (2022). Norm-Based Cutoffs as Predictors of Prolonged Recovery After Adolescent Sport-Related Concussion. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 32(4), e391-e399. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000952>
- Yang, Q., Bucci, M. P., & Kapoula, Z. (2002). The latency of saccades, vergence, and combined eye movements in children and in adults. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 43(9), 2939-2949.
- Zemek, R., Barrowman, N., Freedman, S. B., Gravel, J., Gagnon, I., McGahern, C., Aglipay, M., Sangha, G., Boutis, K., Beer, D., Craig, W., Burns, E., Farion, K. J., Mikrogianakis, A., Barlow, K., Dubrovsky, A. S., Meeuwisse, W., Gioia, G., Meehan, W. P., ... for the Pediatric Emergency Research Canada (PERC) Concussion Team. (2016). Clinical Risk Score for Persistent Postconcussion Symptoms Among Children With Acute Concussion in the ED. *JAMA*, 315(10), 1014. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.1203>
- Zuckerman, S. L., Kerr, Z. Y., Yengo-Kahn, A., Wasserman, E., Covassin, T., & Solomon, G. S. (2015). Epidemiology of Sports-Related Concussion in NCAA Athletes From 2009-2010 to 2013-2014 : Incidence, Recurrence, and Mechanisms. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(11), 2654-2662. <https://doi.org/10.1177/0363546515599634>

Annexes

Annexe A : test de dépistage vestibulo-oculomoteur (VOMS)



Association québécoise
des médecins du sport
et de l'exercice

Dépistage Vestibulo-Oculomoteur (VOMS)

Traduit et adapté de Mucha A, Collins MW, Elbin RJ, et al. *A Brief Vestibular/Ocular Motor Screening (VOMS) Assessment to Evaluate Concussions: Preliminary Findings*. The American journal of sports medicine. 2014;42(10):2479-2486.

INSTRUCTIONS :

Interprétation : Ce test a été créé pour être utilisé pour les sujets âgés de 9 à 40 ans. Lorsqu'utilisé avec des sujets à l'extérieur de cet intervalle d'âge, l'interprétation peut varier. Des trouvailles anormales ou la provocation de symptôme avec l'un de ces tests peuvent indiquer une dysfonction et devraient être suivies d'une référence au professionnel de la santé approprié pour une prise en charge plus détaillée et la prise en charge.

Équipement : Ruban à mesurer (cm), métronome, cible avec une police de taille 14.

Symptômes de base : Notez l'intensité des symptômes pour céphalée, étourdissement, nausée, sensation d'être dans le brouillard (*fogginess*) de 0 à 10 avant de débiter le test.

POURSUITE VISUELLE

Patient suit une cible qui bouge alors qu'il est immobile

- Le patient maintient sa tête stable (tenir la tête du patient avec une main au besoin)
- L'examineur est à ~ 1 m du patient
- L'examineur demande au patient de maintenir la mise au point (*focus*) sur une cible qu'il bouge 45 cm (1½ pied) de chaque côté, lentement, 2 secondes par direction (Gauche → Droite)
- Faire 2 allers-retours
- D'abord horizontal, puis vertical

Notez : Intensité de la provocation de symptômes pour Céphalée, étourdissement, nausée, sensation d'être dans le brouillard (*fogginess*) de 0 à 10

SACCADES

Horizontales et Verticales

Patient regarde 2 cibles de façon alternée le plus rapidement possible

- Le patient maintient sa tête stable (tenir la tête du patient avec une main au besoin)
- L'examineur est à ~ 1 m du pt
- L'examineur tient 2 cibles à 45 cm (1½ pied) de chaque côté de son nez, de sorte que le patient doive tourner le regard de 30° de chaque côté
- Le patient doit regarder chaque cible, rapidement
- Faire 10 allers-retours
- Refaire ensuite verticalement : l'examineur tient 2 cibles à 45 cm (1½ pied) en haut et en bas de son nez, de sorte que le patient doive élever ou descendre le regard de 30°

Notez pour chaque direction : Intensité de la provocation de symptômes pour Céphalée, étourdissement, nausée, sensation d'être dans le brouillard (*fogginess*) de 0 à 10 après chaque test

Mucha A, Collins MW, Elbin RJ, Furman JM, Troutman-Enseki C, DeWolf RM, Marchetti G, Kontos AP. A brief vestibular and ocular motor screening (VOMS) assessment to evaluate preliminary concussion: Preliminary findings. Am J Sports Med; in press.
NE PAS MODIFIER



POINT DE CONVERGENCE

Habileté de voir une cible de près sans voir double

- Le patient est assis et porte au besoin ses lunettes ou verres de contact
- L'examineur est assis devant et observe le mouvement des yeux durant ce test
- Patient maintient la mise au point (*focus*) sur une petite cible (taille de police 14) à environ une longueur de bras devant lui
- L'examineur demande au patient de garder la mise au point sur la cible en l'approchant de son nez
- Le patient doit immobiliser la cible lorsqu'il voit double OU lorsque l'examineur observe une déviation externe d'un œil

La distance entre le bout du nez et la cible est notée. ANORMAL > 6 cm

Répétez 3 fois et notez la distance 3 fois.

Notez : Intensité de la provocation de symptômes pour Céphalée, étourdissement, nausée, sensation d'être dans le brouillard (*fogginess*) de 0 à 10

RÉFLEXE OCULO-VESTIBULAIRE (ROV)

Horizontal et Vertical

Capacité à stabiliser la vision alors que la tête bouge

- Patient et examineur sont à 1 m de distance
- Patient fixe une cible centrale (crayon, nez de l'examineur, police taille 14)
- Utilisez un métronome à 180 battements/minute (bpm) (App)
- Horizontal : le patient doit bouger la tête des 2 côtés (~ 20°) et maintenir la mise au point (*focus*) sur la cible
- 10 allers-retours
- Vertical : le patient doit bouger la tête de haut en bas (~ 20°) et maintenir la mise au point (*focus*) sur la cible

Notez pour chaque direction : Intensité de la provocation de symptômes pour Céphalée, étourdissement, nausée, sensation d'être dans le brouillard (*fogginess*) de 0 à 10 après chaque test

Ce test a le plus haut taux de provocation des symptômes : 61%

SENSIBILITÉ VISUELLE AU MOUVEMENT

Habileté à inhiber les mouvements des yeux induits par le vestibulaire en utilisant la vision.

- Patient se tient debout, pieds largeur des épaules
- De préférence, devant un milieu occupé (Clinique, terrain, salle)
- Patient tient son bras droit devant lui, pouce levé
- Maintenir la mise au point (*focus*) sur son pouce, alors qu'il fait des rotations en bloc de tout le corps
- Amplitude de 80° de chaque côté
- Utilisez un métronome pour garder une fréquence de 50 battements/minute (bpm) (1 battement par direction).
- 5 allers-retours

Notez : Intensité de la provocation de symptômes pour Céphalée, étourdissement, nausée, sensation d'être dans le brouillard (*fogginess*) de 0 à 10.

Dépistage Vestibulo-Oculomoteur (VOMS)

VOMS	Non testé	Céphalée 0-10	Étourdissements 0-10	Nausée 0-10	Sensation d'être dans le brouillard (<i>Fogginess</i>) 0-10	Commentaires
Symptômes de base	N/A					
Poursuite visuelle						
Saccades – Horizontales						
Saccades – Verticales						
Point de convergence						(cm) 1 ^{re} mesure : 2 ^e mesure : 3 ^e mesure :
ROV – Horizontal						
ROV – Vertical						
Sensibilité visuelle au mouvement						

Mucha A, Collins MW, Elbin RJ, Furman JM, Troutman-Enseki C, DeWolf RM, Marchetti G, Kontos AP. A brief vestibular and ocular motor screening (VOMS) assessment to evaluate preliminary concussion: Preliminary findings. *Am J Sports Med*; in press.
NE PAS MODIFIER

Figure 2. — Protocole du test de dépistage vestibulo-oculomoteur (VOMS)

Document en libre accès, traduit en français par l'Association québécoise des médecins du sport et de l'exercice adapté de Mucha, A., Collins, M. W., Elbin, R. J., Furman, J. M., & Troutman-Enseki, C. (2014). *A brief vestibular/ocular motor screening (VOMS) assessment to evaluate concussions: Preliminary findings. The American Journal of Sports Medicine*, 42(10), 2479-2486.

Annexe B : test King-Devick

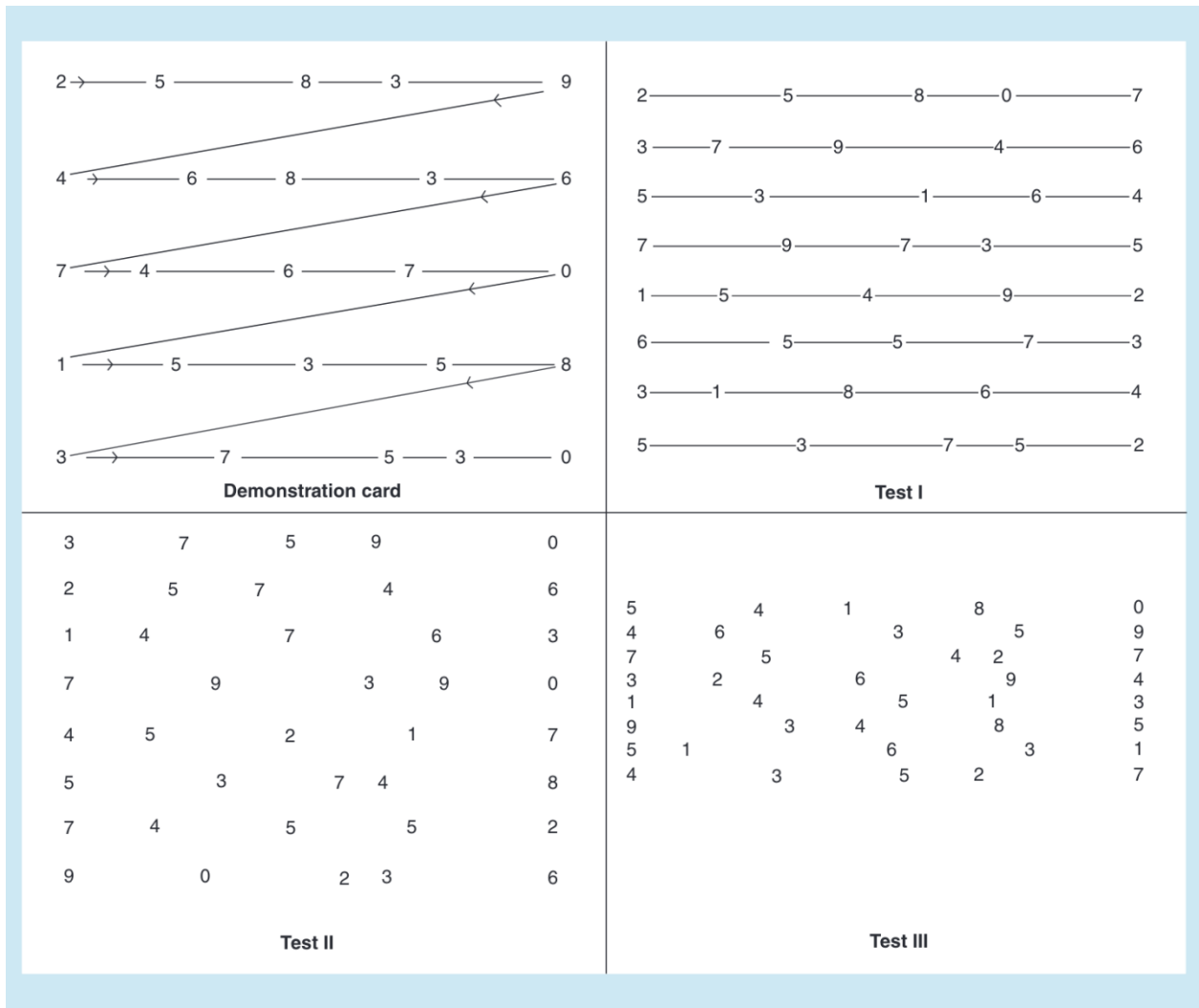


Figure 3. — Cartes de démonstration et de test du King-Devick.

Figure tirée et sans modification de *The King-Devick test of rapid number naming for concussion detection: meta-analysis and systematic review of the literature* par Galetta et al. (2016), utilisée sous licence [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Annexe C : Mobile Universal Lexicon Evaluation System (MULES)

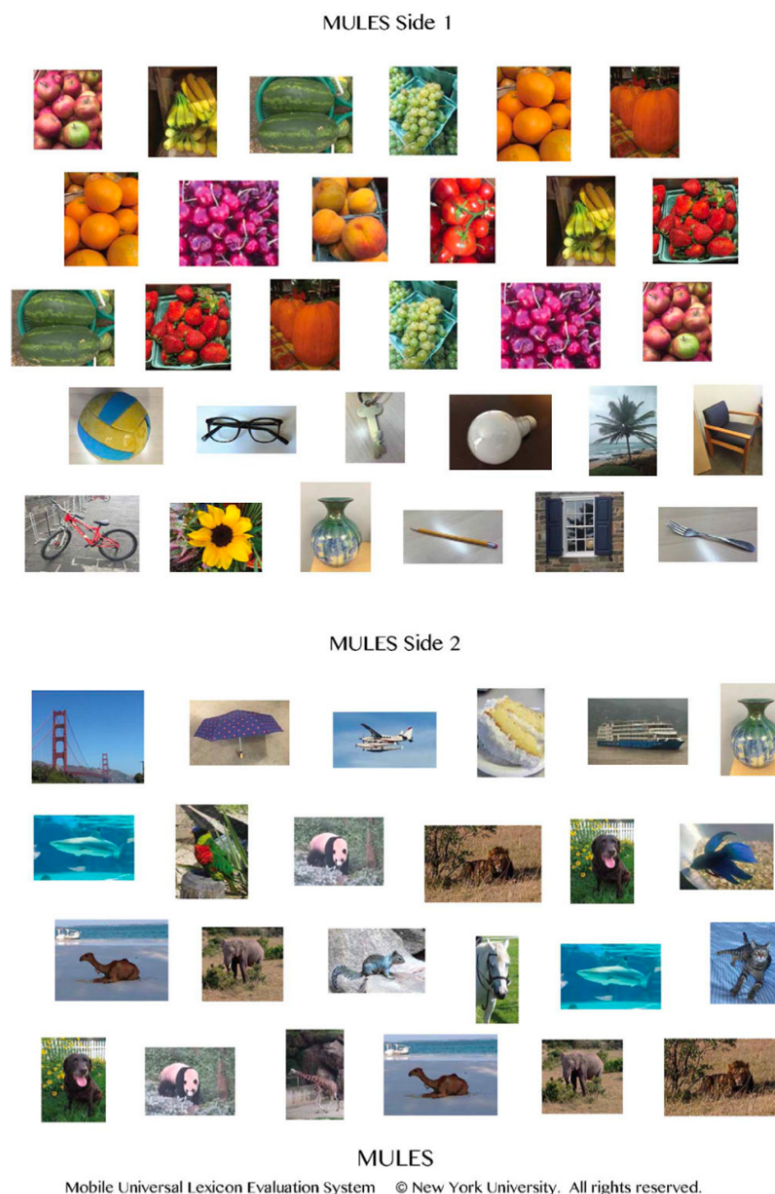


Figure 4. – Le test *Mobile Universal Lexicon Evaluation System*

Figure reproduite de *Journal of the Neurological Sciences*, vol. 388, Galetta, K. M., Morganroth, J., Moehring, N., Mueller, B., Hasanaj, L., Webb, N., Galetta, S. L., & Balcer, L. J., *The new Mobile Universal Lexicon Evaluation System (MULES): A test of rapid picture naming for concussion sized for the sidelines*, p. 39–44, © 2018, avec la permission d'Elsevier (licence #6045870939177 obtenue le 11 juin 2025)