



PAR LE DOCTEUR JEAN-PIERRE LAGACÉ
OPTOMÉTRISTE, M.Sc.

ARTICLE 2

.....

Mouvements oculaires et commotions cérébrales

Selon le Center for Disease Control and Prevention (CDC), il y a entre 3,6 et 3,8 millions de signalements de légers traumatismes cérébraux survenant chaque année aux États-Unis. Beaucoup d'entre eux sont causés par des sports et loisirs connexes, et plus de 800 000 Américains cherchent des soins ambulatoires pour leur condition à chaque année.

Les spécialistes des lésions cérébrales retrouvent des mouvements oculaires anormaux dans jusqu'à 90% des patients avec une commotion cérébrale.

En fait, la recherche¹ a montré qu'un événement neurologique, une lésion cérébrale ou une commotion entraînera le même dysfonctionnement oculomoteur que nous retrouvons chez les enfants ayant des problèmes de poursuites visuelles développementales.

Pourtant, notre expérience montre quand un parent sait que leur enfant a subi une commotion cérébrale, ils sont beaucoup plus proactifs depuis le début parce qu'ils ont été branchés sur le système de réhabilitation. Toutefois, si un enfant devait subir une bosse grave sur la tête sur le terrain de jeu ou est tombé de leur vélo, mais ils n'ont pas signalé l'incident à leurs parents? Ou parfois le parent peut même être au courant de l'incident, mais pensait que leur enfant a seulement obtenu leur « cloche sonne » et aucune autre mesure n'est prise. L'enfant peut avoir des maux de tête ultérieurs, se sentir mal, et d'autres symptômes provoqués par une soi-disant « commotion silencieuse » et supposé qu'ils avaient la grippe, donc rien de plus n'est fait. L'absence de la connaissance d'une commotion peut conduire à une mauvaise gestion importante des soins de santé de l'enfant!

La recherche entreprise par Ciuffreda et coll.¹, à l'aide d'une étude rétrospective, était de déterminer la fréquence d'apparition des dysfonctions oculomotrices dans un échantillon de patients externes ambulatoires qui ont eu une lésion cérébrale acquise (ABI), soit un traumatisme crânien (TBI) ou un accident vasculaire cérébral (AVC), avec des symptômes de vision associés.

La majorité des personnes atteintes soit d'un traumatisme crânien (90 %) d'un AVC (86,7 %) manifestaient une dysfonction oculomotrice.

Les dossiers médicaux de 220 personnes ayant soit un traumatisme crânien (n = 160) ou un AVC (n = 60) ont été revus rétrospectivement. Les auteurs ont relevé la fréquence d'apparition des dysfonctions oculomotrices y compris les problèmes d'accommodation, de versions, de convergence, de strabisme, et de paralysie de nerfs crâniens. La majorité des personnes atteintes soit d'un traumatisme crânien (90%) d'un AVC (86,7%) manifestaient une dysfonction oculomotrice. Les déficits d'accommodation et de convergence étaient les plus courants dans le sous-groupe TCC, alors que le strabisme et les paralysies des nerfs crâniens étaient les plus courants dans le sous-groupe d'AVC. La fréquence d'apparition des déficits des versions était similaire dans chaque sous-groupe diagnostique.

Déficit des saccades oculaires

Les patients atteints d'une lésion au lobe frontal présentent souvent une inhibition réduite des saccades oculaires et des comportements analogues à la négligence hémispatale². La plupart des patients atteints d'un traumatisme crânien, présentent des contusions du lobe frontal dues aux forces associées au coup/contrecoup et démontrent fréquemment des problèmes liés à la distractibilité visuelle. Les lobes frontaux envoient des signaux aux régions intranucléaires, où les neurones du regard sont situés. L'influx du lobe frontal peut soit agir comme excitateur dans le cas des saccades volontaires (j'ordonne à mes yeux de bouger) soit comme inhibiteur pour empêcher le mouvement oculaire réflexe au moment inopportun.

Lorsque le lobe frontal droit est endommagé, la distractibilité visuelle de droite est souvent observée lors des examens de confrontation. Le patient peut décrire son état comme une incapacité à garder ses yeux fixes pendant l'examen, et peut même devenir frustré devant l'incapacité d'arrêter de regarder ailleurs. Les antécédents vont systématiquement révéler qu'ils ont eu des difficultés à se concentrer depuis leur lésion cérébrale acquise. Les patients qui ont subi un important infarctus de l'hémisphère droit qui concerne les régions frontales, pariétales et temporales peuvent démontrer une négligence et une défaillance de l'inhibition de la saccade, ce qui peut partiellement expliquer une grave

déviante conjuguée de l'œil et de la tête du côté droit. Ces troubles qui sont normalement associés à une apraxie motrice généralisée surviennent le plus souvent après une lésion de l'hémisphère gauche.

Les implications fonctionnelles des saccades volontaires instables sont nébuleuses tout autant que les possibles avantages du traitement. Normalement, après avoir diagnostiqué le problème, je décris la relation entre le site de la lésion et les symptômes du patient liés à l'apraxie motrice générale. Dans certains cas, lorsque l'optométriste souhaite tenter une rééducation, je vais suggérer des saccades de large amplitude (~ 20°) et répétitives (~ 60 répétitions) vers des cibles tenues par le patient ou le thérapeute. Le taux élevé de répétition leur permet d'être exposé à un mouvement oculaire peu fréquent au quotidien.

Les tests visuels-oculomoteurs (VOMS)

Depuis peu, la littérature concernant les commotions cérébrales s'intéresse à l'évaluation visuelle/oculomotrice (Visual/Oculomotor Screening ou VOMS).

En effet, des chercheurs à l'UPMC et l'Université de Pittsburgh³ ont mis au point un nouveau test simple qui peut détecter les symptômes d'une commotion cérébrale que d'autres tests actuels manquent souvent.

La nouvelle série de tests concerne le système oculaire vestibulaire, qui est responsable de l'intégration de la vision, de l'équilibre et du mouvement. C'est ce qui nous permet de garder nos yeux ciblés et stables quand nous déplaçons notre tête au lieu des yeux. Il est situé dans le vestibule de l'oreille interne.

Les problèmes de vision, de vision trouble (brouillard) et les étourdissements sont les symptômes associés avec les pires résultats chez les patients atteints d'une commotion cérébrale, a déclaré Michael «Micky» Collins, directeur du *UPMC Sports Medicine Concussion Program*.



Brittany Brown, à gauche, un aide en réadaptation à l'UPMC Sports Medicine qui a eu un récent accident de vélo, est examiné par Anne Mucha, coordonnatrice clinique de la thérapie vestibulaire pour l'UPMC Sports Medicine Concussion Program. Le test mesure la sensibilité visuelle au mouvement (visual motion sensitivity ou VMS).

Mais les tests déjà existants, qui mettent l'accent sur l'équilibre, manquent souvent ces symptômes, a déclaré Anne Mucha, coordonnateur clinique pour la thérapie vestibulaire. Ainsi, une équipe de recherche qu'elle a dirigée – et qui comprenait d'autres experts de l'Université de Pittsburgh dans d'autres disciplines – a entrepris de développer une série de tests qui pourraient permettre une meilleure identification.

Les tests qu'ils ont amassés un peu partout, font partie de ce qu'ils ont appelé le dépistage vestibulaire/oculomoteur (vestibular/ocular motor screening ou VOMS) – permet aux cliniciens d'être précis à 90 pour cent pour identifier les patients avec une commotion cérébrale. La série de tests peut être ajoutée aux méthodes d'évaluations actuelles, telles que l'examen physique, l'évaluation des symptômes et les tests neurocognitifs informatisés.

Selon Madame Mucha, le VOMS peut nous dire de quel type de commotion le patient a souffert. Il en existe six types, identifiés par les symptômes qu'ils présentent: vestibulaires (problèmes d'équilibre); oculaires (problèmes de vision); problèmes d'humeur et d'anxiété, les migraines, et cervicaux (problèmes avec le cou). La plupart des personnes souffrant d'une commotion cérébrale présentent plusieurs de ces symptômes, mais un ou deux ont tendance à prédominer. Environ 80 pour cent des personnes qui souffrent de commotions cérébrales peuvent récupérer dans environ trois semaines. Mais cela peut prendre des mois pour les 20 pour cent restants.

La plupart des patients traités par le programme de commotion cérébrale qui ont pris plusieurs mois pour récupérer avaient des problèmes vestibulaires ou oculaires. Pour développer le VOMS, les chercheurs ont étudié 64 patients avec commotions environ cinq jours après avoir subi leurs blessures, et comparé leurs réponses à un groupe de 78 patients témoins sains.

Les tests du VOMS évaluent cinq aires du système oculaire vestibulaire: les poursuites visuelles, les saccades, le réflexe oculo-vestibulaire horizontal (qui stabilise les images pendant les mouvements de la tête), la sensibilité visuelle au mouvement (liée à des étourdissements), le point rapproché de convergence.

Après chaque test, comme celui où on demande au patient de se concentrer sur un objet, ou de déplacer sa tête rapidement de gauche à droite, le clinicien administrant les tests demande au patient si cela réveille les symptômes principaux, alors la rétroaction est immédiate. Après avoir subi le test VOMS, plus de 60 pour cent des patients présentaient des symptômes de commotion cérébrale.



Le Dr Michael «Micky» Collins, directeur clinique et exécutif du Programme Commotion de l'UPMC, procède à un examen oculaire-vestibulaire avec un patient. Crédit: Image courtoisie de l'University of Pittsburgh Schools of the Health Sciences

En fait, l'évaluation par le *Sideline Assessment of Concussion* (SAC), le *Sport Concussion Assessment Tool-3* (SCAT-3), et le *Balance Error Scoring System* (BESS), et des tests semblables ne parviennent pas à la fois à évaluer globalement le système vestibulaire et mesurer les dysfonctions oculomotrices.

La publication de leur recherche concernant les aspects vestibulaires et oculomoteurs lors des commotions cérébrales liées aux sports a eu lieu en 2014⁴.

Soixante-quatre patients, âgés de $13,9 \pm 2,5$ ans et vu environ $5,5 \pm 4,0$ jours après une commotion liée au sport, et 78 témoins ont subi les tests VOMS qui comprenait cinq domaines: (1) les poursuites visuelles, (2) les mouvements de saccades horizontales et verticales, (3) le point rapproché de convergence, (4) le réflexe vestibulaire-oculaire horizontal (VOR), et (5) la sensibilité visuelle au mouvement (VMS). Les participants ont également été administrés l'échelle des symptômes post-commotion cérébrale (du PCSS).

Soixante et un pour cent des patients ont rapporté des symptômes de provocation après au moins un test du VOMS. Tous les tests VOMS étaient positivement corrélés au score total du PCSS. Le test VOR (coefficient de probabilité [odds ratio, 3,89; $P < 0,001$]) et le VMS (3,37; $P < 0,01$) étaient les tests les plus prédictifs dans le groupe avec commotion cérébrale. Un PRC de 5 cm et tout score de symptôme du VOMS ≥ 2 ont abouti à une augmentation de la probabilité d'identifier correctement les patients lésés de 38 % à 50 %, respectivement.

Le VOMS a démontré une cohérence interne ainsi qu'une sensibilité adéquate pour identifier les patients avec des commotions cérébrales. Les résultats actuels fournissent un support préliminaire pour l'utilité du VOMS comme tests de dépistage moteur / vestibulaire / oculaire après des commotions cérébrales liées au sport. Le VOMS peut améliorer les outils d'évaluation actuels et peut servir comme seule composante d'une approche globale de l'évaluation des commotions cérébrales.

Le test de King-Devick

Les optométristes connaissent bien ce test. Il est le successeur des tests de saccades de Pierce, en outre, a été renommé par la suite le NYSOA King-Devick Saccadic Eye Movement Test et est aussi l'ancêtre du Developmental Eye Movement Test (test DEM).

Populaire dans les années 1980 et 1990, ce test faisait partie de la batterie des tests oculomoteurs qu'on pouvait administrer aux enfants qui avaient des problèmes de lecture. Quelques études concernant ce test ont été publiées.

N'oublions pas que ce test fut créé en 1976 par Alan King, O.D. et Steven Devick, O.D., alors qu'ils étaient encore des étudiants à l'Illinois College of Optometry. Ce test avait pour but d'être un indicateur des performances saccades en ce qui concerne la capacité de lecture. En 1983, un échantillon de 1 202 enfants de six à quatorze ans a subi le K-D Test. L'étude effectuée par l'Université d'État de New York (SUNY) a conclu que le test a été rapide et facile à scorer.

Ce test, donc, n'a pas été conçu avec les commotions cérébrales à l'esprit. En 2009, le Dr Devick tomba sur une étude réalisée par un groupe de médecins néo-zélandais qui ont constaté que dans un certain nombre de cas de syndrome post-commotion cérébrale, le seul défaut physique était les déficits des saccades oculaires. Les médecins avaient utilisé un électro-oculographe, qui n'était pas un instrument pratique sur le terrain. Le Dr Devick pensa alors que le test pourrait aider.

1) Le test K-D comme test oculomoteur et la lecture

On a comparé les scores initiaux et de retest du test K-D⁵ et on a montré le manque de fiabilité à la fois pour le test de Pierce et le test de saccades King-Devick. Ainsi, il y a un doute quant à l'utilité clinique des tests à la fois pour l'évaluation des mouvements oculaires et le suivi des progrès des patients subissant un traitement oculomoteur.

D'autres auteurs⁶ ont montré que les résultats du NYSOA KD, déterminés par les erreurs en conjonction avec le temps du test, étaient significativement liés à la capacité de lecture chez les enfants de 5 ans ($p = 0,0129$), de 6 ans ($p = 0,0167$), et le groupe de sujets dans son ensemble lors de l'ajustement pour l'âge ($p = 0,0008$). Les résultats suggéraient que la NYSOA KD pouvait être complétée à la maternelle; et les performances au NYSOA KD étaient liées à la performance de lecture chez les 5 et 6 ans.

S'interrogeant sur les effets d'apprentissage fréquents lors du test de King-Devick (NYSOA KD) chez les enfants âgés entre 7 et 12 ans, Kulp & Schmidt^{7,8} ont testé la fiabilité et l'effet des anomalies visuelles sur la fiabilité. Leurs résultats suggéraient que le test NYSOA KD n'était pas fiable à la maternelle et en première année.

Lors d'un dépistage visuel, Krumholtz⁹ a montré que le test de K-D et l'évaluation de l'hypermétropie avaient une corrélation significative avec les scores des tests de performance en lecture.

Ces deux tests étaient significatifs pour prévoir les élèves qui se retrouveraient dans le dernier 25% de la classe.

1. Krumholtz I. Results from a pediatric vision screening and its ability to predict academic performance. *Optometry*. 2000 Jul;71(7):426-30. Erratum in: *Optometry*. 2000 Aug;71(8):489.

Le fabricant du test de King-Devick a aussi mis sur le marché un programme d'entraînement à la lecture (logiciel pour ordinateur et Ipad). Ce programme entraîne de fait les mouvements oculaires et la dénomination rapide pour améliorer les lacunes oculomotrices associées à une lecture inefficace. Le temps de pratique recommandé est d'une séance de 20 minutes trois fois par semaine.

Les auteurs concluent que l'entraînement des saccades peut considérablement améliorer la fluidité de lecture.

Plus récemment, et concernant le programme d'entraînement de K-D, Leong et coll.¹⁰ ont mesuré l'effet d'entraînement des saccades et son influence sur la fluence de lecture. Les auteurs affirment que les mouvements oculaires sont nécessaires pour l'acte physique de la lecture et il a été démontré que ces mouvements sont aussi liés à des processus cognitifs et visuoattentionnels sous-jacents lors de la lecture. Le but de leur étude était de déterminer l'effet de l'entraînement des saccades en utilisant le logiciel King-Devick pour la fluidité de lecture.

Dans cette étude prospective, en simple aveugle, essai croisé et randomisés, une cohorte d'élèves du primaire a reçu des tests normalisés de fluence de lecture avant et après le traitement. Le traitement a consisté en des sessions de 20 minutes par jour, trois jours par semaine pendant 6 semaines.

Le groupe de traitement avait des scores significativement plus élevés en fluence de lecture après le traitement ($P < 0,001$), et les scores post-traitement étaient significativement plus élevés que ceux du groupe témoin ($p < 0,005$).

Les auteurs concluent que l'entraînement des saccades peut considérablement améliorer la fluidité de lecture. Ils émettent l'hypothèse que cette amélioration de la fluidité en lecture est le résultat d'une pratique rigoureuse des mouvements oculaires et de l'attention visuospatiale, qui sont essentiels à l'acte de lecture.

2) Le test de King-Devick et les commotions cérébrales

Le test a reconnu un renouveau exceptionnel dans l'évaluation des commotions cérébrales et de la décision de retour au jeu chez les sportifs de tout genre.

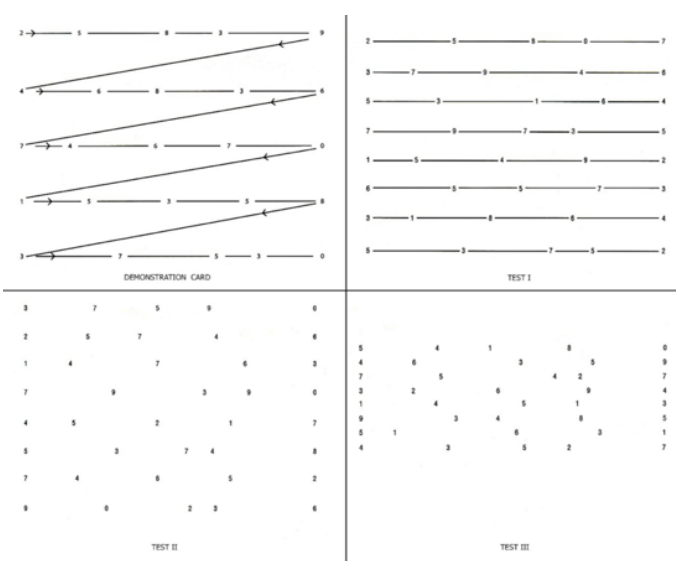
Selon le fabricant, pour plus de 30 ans, le Test King-Devick a été un indicateur prouvé de l'inefficacité oculomotrice concernant les mouvements des yeux lors de la lecture avec des centaines d'articles publiés dans 19 pays différents évaluant le test.

Le Test King-Devick est un critère objectif pour prendre la décision de retour au jeu et ce test peut être administré par les parents et les entraîneurs en quelques minutes. Le Test King-Devick est une méthode précise et fiable pour identifier les athlètes ayant un traumatisme crânien et a un intérêt particulier pour différents sports: football, hockey, soccer, basket-ball, la crosse, le rugby, le baseball, le softball et tous les autres sports de contacts et de collision. Le test King-Devick est un test facile à administrer en marge de manifestations sportives pour aider à la détection des commotions cérébrales chez les athlètes. Il peut aider à déterminer objectivement si les joueurs doivent être retirés du jeu. En conséquence, le test peut aider à prévenir les conséquences graves des commotions cérébrales répétitives lorsqu'un athlète revient au jeu après une blessure à la tête.



Administrer le test de King-Devick

Les commotions cérébrales sont un type complexe de lésion cérébrale qui ne sont pas visibles sur les scans de routines du cerveau, mais sont détectables lorsque des aspects importants du fonctionnement du cerveau sont mesurés. Le test de King-Devick est un test de deux minutes qui nécessite à un athlète de lire des chiffres affichés sur des cartes ou sur un iPad. Si on soupçonne un traumatisme crânien, l'athlète subit le test et si le temps nécessaire pour terminer le test est plus long que la durée du test de référence initial de l'athlète, l'athlète doit être retiré du jeu et doit être évalué par un professionnel qualifié. Bien sûr, cela suppose que tous les joueurs ont eu un test initial avant la saison de jeu.



Carte de démonstration et de test du King-Devick.
 Pour effectuer le test de K-D, les participants sont invités à lire les chiffres sur chaque carte de gauche à droite le plus rapidement possible, mais sans faire des erreurs. Après la réalisation de la carte de démonstration (en haut à gauche), on demande aux sujets de lire chacune des 3 cartes de test de la même manière. Les temps nécessaires pour effectuer chaque carte sont enregistrés en quelques secondes en utilisant un chronomètre. La somme des trois scores de temps aux tests constitue le score global pour l'ensemble du test. Le nombre d'erreurs commises dans la lecture des cartes de test sont également enregistrées.



Le test de King-Devick et la Clinique Mayo: une entente providentielle

Les commotions cérébrales font les manchettes nationales aux États-Unis pour les dégâts causés aux élèves et aux athlètes professionnels. Déterminer si un athlète doit être retiré du jeu est un défi majeur dans la prévention des blessures.



Les athlètes professionnels nient systématiquement leurs symptômes. Les Centers for Disease Control and Prevention estiment qu'entre 1,6 et 3,8 millions d'étudiants ont des commotions cérébrales chaque année. Dans un effort pour apporter à la fois de la sensibilisation et augmenter le dépistage, la Clinique Mayo a convenu d'un accord de licence avec King-Devick Test Inc., qui a développé cet indicateur éprouvé de motricité oculaire, visuelle et de la fonction cognitive pour la détection et l'évaluation des commotions sur le terrain des événements sportifs pour aider à la décision d'écartier les athlètes du jeu pour prévenir les blessures.

Selon les termes de l'accord, le test de dépistage des Commotions King-Devick sera officiellement reconnu comme le «test King-Devick en association avec la Clinique Mayo».

Nouveaux appareils pour la mesure des saccades oculaires

Une nouvelle technologie de détection des poursuites visuelles a été développée grâce aux recherches effectuées par le NYU Langone Medical Center^{11,12,13}.

Des mouvements oculaires disconjugués ont été associés à une lésion cérébrale traumatique depuis les temps anciens. Les dysfonctions de la motilité oculaire peuvent être présentes dans jusqu'à 90 % des patients avec une commotion cérébrale ou d'une blessure par explosion.

Les saccades sont disconjuguées lorsque les yeux ne tournent pas du même angle ou lorsque la vitesse de poursuite n'est pas la même dans les deux yeux.

.....

Les poursuites oculaires peuvent aider à quantifier la sévérité de la perturbation de la motilité oculaire associée avec une commotion cérébrale et des lésions cérébrales structurelles.

.....

On effectue donc la mesure de l'alignement des points de fixation pour chaque œil par rapport à l'autre sur une surface plane en coordonnées x et y. Plus la différence linéaire entre les yeux augmente, plus il y a disconjugaison.

Les chercheurs ont développé un algorithme pour les poursuites visuelles dans lequel les coordonnées cartésiennes de la pupille droite et gauche sont suivies pendant plus de 200 secs et sont comparées les unes aux autres alors qu'un sujet regarde un court métrage se déplaçant à l'intérieur d'une ouverture sur un écran d'ordinateur. Une étude prospective des poursuites oculaires a été effectuée avec 64 sujets témoins, sains et non blessés et les résultats ont été comparés à 75 sujets de la traumatologie soit avec une tomographie par ordinateur de la tête (CT scan) positive (n = 13), négative (n = 39), ou des blessures ailleurs qu'à la tête (n = 23) pour déterminer si les poursuites des yeux

révéleraient des mouvements disconjugués associés à la fois à une lésion cérébrale structurelle et une commotion cérébrale. Les mesures des poursuites ont ensuite été corrélées à la mesure du Sport Concussion Assessment Tool 3 (SCAT3) chez des patients traumatisés.

Cinq mesures de disconjugaison horizontale sur cinq ont été augmentées chez les patients avec un CT scan de la tête positif et négatif par rapport aux sujets témoins non blessés. Seulement une des cinq mesures de disconjugaison verticale a été augmentée de façon significative chez les patients cérébrólésés par rapport aux témoins.

Une analyse de régression linéaire de tous les 75 patients traumatisés a démontré que trois paramètres de disconjugaison horizontale avaient une corrélation négative avec le score de gravité des symptômes du SCAT3 et positivement corrélés avec le score total du Standardized Assessment of Concussion. Les poursuites oculaires peuvent aider à quantifier la sévérité de la perturbation de la motilité oculaire associée avec une commotion cérébrale et des lésions cérébrales structurelles.

Les neuroscientifiques et les experts en commotion du NYU Langone Medical Center et ailleurs espèrent que cette technologie puisse être utilisée dans la salle d'urgence ou, un jour, sur le terrain de jeu.

Les yeux ont servi une fenêtre dans le cerveau, avec des mouvements oculaires disconjugués – quand les yeux ne tournent pas exactement dans les mêmes directions – ce qui est considéré comme un marqueur principal des traumatismes crâniens depuis déjà 3 500 ans. Selon les estimations actuelles des optométristes, on suggère que jusqu'à 90 pour cent des patients atteints de commotions cérébrales ou de blessures par explosion présentent une dysfonction de leurs mouvements oculaires.

Le problème principal est le coût (plus de 50 000 dollars américains) : le système utilise un système vidéo Shakira.

Des optométristes reçoivent une subvention du NIH


Des chercheurs de l'École d'optométrie de l'Université de l'Indiana ont reçu une subvention du *National Institutes of Health* pour étudier les lésions cérébrales traumatiques légères à l'université et les athlètes du secondaire. La subvention de deux ans de 429 000 \$ servira à financer le développement d'un oculomètre portable qui peut être utilisé pour tester les mouvements oculaires des athlètes pendant la compétition en tant que biomarqueur possible pour les blessures.

Les chercheurs – le professeur adjoint Nicholas Port et le professeur agrégé de la clinique Steven A. Hitzeman - en collaboration avec des entraîneurs et des médecins de l'équipe UI ont

mené des projets pilotes au cours des quatre dernières années, principalement avec des athlètes du football et de soccer des équipes masculines et l'équipe de soccer féminin. Le nouveau financement leur permettra d'élargir la recherche pour inclure également le basketball, la lutte et le baseball, les femmes au basketball, volleyball, softball masculin et le hockey sur gazon.



Les chercheurs vont développer l'oculomètre dans les lunettes de réalité virtuelle de la compagnie Oculus Rift. Photo par Oculus Rift

Les lunettes de réalité virtuelle Oculus Rift¹⁴ produisent une expérience 3D stéréoscopique avec un énorme champ de vision de 110 degrés en diagonale de sorte qu'on ne voit pas l'écran. Il permet également de surmonter les problèmes de résolution et de latence qui étaient présents dans des casques de réalité virtuelle précédents, où le mouvement dans le jeu est à la traîne par rapport aux mouvements de la tête. 

RÉFÉRENCES

- Ciuffreda KJ. Occurrence of oculomotor dysfunctions in acquired brain injury: A retrospective analysis. *Optometry* 2007;78:155-161
- Houston K. Les soins visuels pour le patient traumatisé crânien. *L'Optométriste* • mai / juin 2014
- www.post-gazette.com/news/health/2014/09/16/New-test-detects-concussion-impairments-that-may-be-overlooked/stories/201409120060
- Mucha A, Collins MW, Elbin RJ, Furman JM, Troutman-Enseki C, DeWolf RM, Marchetti G, Kontos AP. A Brief Vestibular/Ocular Motor Screening (VOMS) Assessment to Evaluate Concussions: Preliminary Findings. *Am J Sports Med.* 2014 Aug 8. pii: 0363546514543775.
- Oride MK, Marutani JK, Rouse MW, DeLand PN. Reliability study of the Pierce and King-Devick saccade tests. *Am J Optom Physiol Opt.* 1986 Jun;63(6):419-24.
- Kulp MT, Schmidt PP. The relation of clinical saccadic eye movement testing to reading in kindergartners and first graders. *Optom Vis Sci.* 1997 Jan;74(1):37-42.
- Kulp MT, Schmidt PP. Reliability of the NYSOA King-Devick saccadic eye movement test in kindergartners and first graders. *J Am Optom Assoc.* 1997 Sep;68(9):589-94.
- Kulp MT, Schmidt PP. Relationship between visual skills and performance on saccadic eye movement testing. *Optom Vis Sci.* 1998 Apr;75(4):284-7.
- Krumholtz I. Results from a pediatric vision screening and its ability to predict academic performance. *Optometry.* 2000 Jul;71(7):426-30. Erratum in: *Optometry.* 2000 Aug;71(8):489.
- Leong DF, Master CL, Messner LV, Pang Y, Smith C, Starling AJ. The Effect of Saccadic Training on Early Reading Fluency. *Clin Pediatr (Phila).* 2014 May 1;53(9):858-864. [Epub ahead of print]
- <http://communications.med.nyu.edu/media-relations/news/novel-eye-tracking-technology-detects-concussions-and-head-injury-severity>
- <http://horsetalk.co.nz/2015/01/30/eye-tracking-tool-assess-concussion/#axzz3Recd24nD>
- Samadani U, Ritlop R, Reyes M, Nehrbass E, Li M, Lamm E, Schneider J, Shimunov D, Sava M, Kolecki R, Burris P, Altomare L, Mehmood T, Smith T, Huang JH, McStay C, Todd SR, Qian M, Kondziolka D, Wall S, Huang P. Eye Tracking Detects Disconjugate Eye Movements Associated with Structural Traumatic Brain Injury and Concussion. *J Neurotrauma.* 2015 Jan 12. [Epub ahead of print]
- <https://www.oculus.com/press/new-virtual-reality-gaming-headset-from-oculus-gets-kickstarted/>