



HAL
open science

Revue de littérature sur les effets de la rééducation vestibulaire sur la récupération des commotions cérébrales liées à la pratique sportive

Yohann Petit

► **To cite this version:**

Yohann Petit. Revue de littérature sur les effets de la rééducation vestibulaire sur la récupération des commotions cérébrales liées à la pratique sportive. Médecine humaine et pathologie. 2021. dumas-03358259

HAL Id: dumas-03358259

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03358259v1>

Submitted on 29 Sep 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Revue de littérature sur les
effets de la rééducation
vestibulaire sur la
récupération des commotions
cérébrales liées à la pratique
sportive.

Directrice de mémoire : Madame CAORS Béatrice

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon maître de mémoire, Madame Béatrice CAORS, pour son aide à la réalisation du mémoire, son enseignement et son implication tout au long du cursus de formation de Masso-Kinésithérapie.

Je remercie toute l'équipe pédagogique et administrative de l'EFMK de Marseille qui, durant ces 4 années, su m'apprendre, se tenir disponible pour répondre à mes questions et me former lors de mon cursus d'étudiant en Masso-Kinésithérapie.

A mes amis qui m'ont soutenu dans tous les moments difficiles durant cette année scolaire.

A mes camarades du groupe 6 avec qui la formation était studieuse, sérieuse ainsi que dans une ambiance et bienveillance incroyable.

Je remercie tout particulièrement mes frères qui m'ont encouragé, soutenu et souhaite ma réussite. Je leurs souhaite leur réussite à la hauteur de leurs motivations.

Merci à mes parents qui m'ont permis d'entamer les études supérieures depuis 9 longues années, sans eux rien n'aurait été possible, tant sur le plan financier que moral et affectif. Je tiens à ce qu'ils soient fiers de mon accomplissement et j'espère être capable de les remercier à la hauteur des sacrifices qu'ils ont effectué pour mes frères et moi.

Résumé

Introduction : Il a été établi que d'importants traumatismes crâniens ou une répétition de chocs peuvent entraîner un syndrome post-commotionnel. C'est une pathologie reconnue nommée Encéphalite Traumatique Chronique entraînant potentiellement divers troubles neurologiques. Les symptômes post-commotionnelle implique la structure du système vestibulaire (vertiges, équilibre).

Objectif : Nous proposons alors dans cette revue de connaître l'efficacité et les effets de la rééducation vestibulaire dans la récupération des commotions cérébrales liées à la pratique sportive.

Méthode : La base de données PubMed a permis le recueil et la sélections des études dans cette revue, comprenant essais cliniques randomisés et études de cas. La période de parution de ces études s'étale de 1999 à 2021. Les études devaient s'intéresser à l'étude de la rééducation vestibulaire dans un contexte de commotion cérébrale ou de traumatisme crânien liée ou non à la pratique sportive.

Résultats : 6 études sont incluses dans l'analyse de cette revue. 3 essais cliniques randomisés et 3 études de cas. Une seule étude s'inscrit dans le contexte de commotion cérébrale liée à la pratique sportive, les 5 non liées à la pratique sportive spécifiquement. Nous retrouvons une efficacité de la rééducation vestibulaire sur la reprise d'activité sportive avec une p-value = 0.002, amélioration des symptômes de vertiges, d'équilibres, de marches et de qualité de vie après traumatisme crânien.

Discussion : L'ensemble des résultats ne permet pas de conclure sur l'objectif initial. Le peu d'études dans le cadre de la rééducation vestibulaire chez les sujets ayant subis une commotion cérébrale, le contexte éloigné des études, l'impossibilité à comparer les études entre elles (impossibilité statistique) ainsi que les différents biais relevés participe à l'incertitude de l'interprétation et de l'extrapolation de ces résultats au sein de la population cible.

Mots clés : Rééducation vestibulaire, commotion cérébrale, traumatisme crânien, vertiges, retour au sport.

Abstract

Introduction : It has been established that major brain injury or repeated shocks can lead to a post-concussion syndrome. This is a recognized pathology called Chronic Traumatic Encephalitis potentially leading to various neurological disorders. The post-concussion symptoms involve the vestibular system (vertigo, balance).

Objectif : In this review, we then purpose to know the effectiveness and the effects of vestibular rehabilitation in the recovery of sports related concussions.

Méthode : The PubMed database was used to collect and select the studies in this review, including randomized clinical trials and case studies. The period of publication of these studies ranged from 1999 to 2021. The studies had to focus on vestibular rehabilitation in the context of concussion or brain injury related or not to sports practice.

Résultats : 6 studies are included in the analysis of this review. 3 randomized clinical trials and 3 cases studies. The context of sports related concussion is within only one study, the 5 other ones are not specifically related to sports practice. We found an efficacy of vestibular rehabilitation on the medical clearance of sports activity with a p-value = 0.002, improvement in symptoms of vertigo, balance, walking and quality of life after brain injury.

Discussion : The results do not allow us to conclude on the initial objective. The lack of studies in the field of vestibular rehabilitation in concussed subjects, the gap context of the studies, the impossibility of comparing the studies between them (statistical impossibility) as well as the different biases noted contribute to the uncertainty of the interpretation and extrapolation of these results within the target population.

Key words : Vestibular rehabilitation, sport related concussion, brain injury, dizziness, return to sport

1	Introduction.....	1
1.1	Le système vestibulaire :	2
1.2	La commotion cérébrale :.....	3
1.2.1	Définition de la commotion cérébrale dans la pratique sportive :	3
1.2.2	Epidémiologie :.....	5
1.2.3	Le mécanisme de la commotion cérébrale :	6
1.2.4	Physiopathologie :.....	8
1.2.5	Complication à court terme :.....	10
1.2.6	Complication à long terme :.....	11
1.2.7	Traitement :.....	12
2	Méthode :.....	14
2.1	Critères d'éligibilité des études pour cette revue :	14
2.2	Méthodologie de recherche des études :	15
2.3	Méthode d'extraction et d'analyse des données :.....	16
2.3.1	Méthode de sélection des études :.....	16
2.3.2	Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées :.....	16
2.3.3	Extraction des données :	17
3	Résultats.....	17
3.1	Inclusions des études	17
3.2	Description des études.....	18
3.3	Analyse qualitative :	25
3.4	Analyse quantitative :.....	27
4	Discussion.....	33
4.1	Analyse des principaux résultats	33
4.1.1	Efficacité de la rééducation vestibulaire sur la récupération post-commotion cérébrale	34
4.1.2	Effets de la rééducation vestibulaires sur la récupération post-commotion cérébrale	37
4.2	Applicabilité des résultats en pratique clinique	38
4.3	Qualité des preuves et biais potentiels de la revue	39
5	Conclusion	40

1 Introduction

Une commotion cérébrale est un type de lésion cérébrale. Elle est souvent causée par un coup, un choc, un impact au niveau de la tête, cou, visage, corps. Le choc entraîne un mouvement de la boîte crânienne et donc du cerveau à l'intérieur. La commotion cérébrale peut être causée sans perte de connaissance et peut modifier la façon de se sentir ou de penser.

L'apparition de commotions cérébrales est étroitement liée avec la pratique sportive de contact particulièrement avec les sports de combats tel que la boxe et le MMA (Mix Martial Arts). En effet la pratique de certains sports de combat expose la tête, sans protection, à différents traumatismes crâniens pouvant amener le combattant à un « K.O » (Knock Out). La mise en évidence du lien entre troubles neurologiques et commotions cérébrales répétées a été présentée pour la première fois par Martland en 1928 où il décrit le syndrome du « punch drunk ». Ces troubles peuvent être cognitifs, comportementaux, psychomoteurs. Ce syndrome neuropsychiatrique sera décrit puis renommé et restera par la suite en Encéphalite Traumatique Chronique (ETC)¹.

Cependant l'intérêt scientifique n'a cessé de croître s'expliquant par une large augmentation du nombre de papier de recherche scientifiques sur les commotions cérébrales liés au sport ces 10 dernières années. Le nombre de publications scientifiques en rapport avec les commotions cérébrales liées au sport (Concussion related sports) entre 1979 à 2009 est de 344. Le nombre de publications entre 2010 et 2020 est de 2 485. Cet intérêt a permis d'approfondir la physiopathologie de l'ETC, un meilleur diagnostic, un meilleur suivi des effets post-syndrome, une meilleure prise en charge ainsi que des outils de prévention.

Mohamed Ali, légendaire boxeur, semble avoir contracté la maladie de parkinson à la suite des dégâts cérébraux qu'il aurait subi tout au long de sa carrière et particulièrement à la fin de sa carrière². Cependant l'importance des dégâts cérébraux causés par traumatismes répétés n'était pas encore bien connue à son époque ainsi que les tests diagnostiques pouvant prévenir ces troubles. Uniquement une donation de son cerveau pour la recherche pourrait confirmer cela.

Les sports de combats ne sont pas les seuls sports concernés par les ETC, le football américain, le rugby, hockey sur glace le sont tout autant.

Dave Duerson, joueur de football américain c'est suicidé à la suite de troubles rappelant ceux de l'ETC³. Sa dernière volonté était de léguer son cerveau à la recherche pour étudier cette pathologie. Pathologie confirmée par les neurologues de l'université de Boston à la suite des nombreuses commotions subies par le joueur⁴.

Ces différents événements ont amené différentes ligues sportives à mettre en place des protocoles anti-commotions afin de prévenir le risque d'apparition d'ETC chez les joueurs ayant subi un important traumatisme crânien suspectant une commotion cérébrale. La NFL (Ligue de football américaine) met en place une série de tests pour chaque joueur suggérant une commotion cérébrale et retire le joueur du terrain. En France le service médical de la

fédération française de handball (FFH) a mis en place le protocole carton blanc en 2019 sur toute suspicion de commotion cérébrale. Il en est de même pour le Rugby avec le « world rugby concussion management ».

Cependant certains sports ne considèrent pas encore l'importance des commotions cérébrales comme le football avec comme exemple le suisse Fabian Schär continuant le match après un choc à la tête provoquant une perte de connaissance⁵. Il reste des progrès à faire dans certains sports même si leur incidence reste faible.

Aux Etats-Unis ils estiment à environ 30% le taux de troubles neurologiques chez les personnes ayant subis multiples traumatismes crâniens⁶. L'incidence des commotions cérébrales liées à la pratique sportive aux Etats-Unis se situe entre 1.6 et 3.8 millions par an. Le Coût de ces commotions cérébrales est estimé à 60 milliards de dollars par an⁷. Malheureusement les commotions cérébrales restent trop peu déclarées chez les sportifs à cause de la longue période de rétablissement que sa prise en charge requiert les tenants écartés des compétitions⁸. Les sportifs sous-estiment l'importance des commotions cérébrales.

En France la légalisation du MMA (Mix Martial Arts), très médiatisé sur le continent américain, a été effectué le 1^{er} janvier 2020. Cela ouvre une pratique sportive sensible à ces commotions cérébrales.

Les commotions cérébrales sont un enjeu économique de santé à cause de tous ces facteurs. Cela est nécessaire d'avoir à disposition des moyens pour protéger les sportifs lors de leurs pratiques sportives pour éviter des complications à long terme. Il est tout autant nécessaire d'avoir des outils thérapeutiques pour rééduquer au mieux les patients ayant eu une commotion cérébrale.

La prise en charge Masso-Kinésithérapeutique des commotions cérébrales est opaque. Il semblerait que le repos total de 24 à 48h suivi d'utilisation d'outils thérapeutiques tels que la thérapie manuelle, des exercices physiques aérobiques, la rééducation vestibulaire, l'entraînement neuromoteur semblent être efficaces pour réduire les symptômes post-commotionnelle et permettre une reprise d'activité plus rapide et plus sereine^{9 10 11}. La rééducation reste très variable en fonction du praticien. Davantage d'investigations scientifiques doit être explorer concernant la rééducation des commotions cérébrales.

Dans ce mémoire j'ai donc cherché à connaître les effets de la rééducation vestibulaires sur la récupération d'un sportif ayant subi une commotion cérébrale liée à sa pratique.

1.1 Le système vestibulaire¹² :

Le système vestibulaire est un organe sensoriel barosensible (sensible à la pression) en 3 dimensions composé de 5 cavités :

- Trois canaux semi-circulaires : Ces canaux détecte les mouvements de rotation par inertie.

- Saccule et Utricule : regroupé sous le nom « d'organes otolithiques » ils sont responsables de la sensation d'accélération linéaire et informe la position de la tête par rapport à la verticale.

Ces détections de positionnement et de mouvements sont expliquées par la présence d'un liquide dans les canaux, l'endolymphe. Ce liquide est sujet à déplacements grâce aux mouvements de la tête par inertie (comme lors d'un choc) permettant aux cils des cellules cillées vestibulaires de détecter les mouvements du liquide. Une fois ses informations sensorielles relevées elles sont transmises, via conduction nerveuse (nerf vestibulaire, nerf cochléaire, formant le nerf vestibulocochléaire). Ces signaux sont envoyés à destination des noyaux vestibulaires qui redirigent le signal en fonction de la réponse adaptée aux stimulus initiaux. Les structures sont le cervelet, la moelle épinière, le thalamus ainsi que les nerfs oculomoteurs.

Le système vestibulaire est responsable du réflexe vestibulo-oculaire (RVO). Ce réflexe est permis par la stimulation des canaux semi-circulaires (donc lors d'un mouvement de rotation) provoquant une stimulation des muscles du système oculaire (du côté opposé au mouvement) compensatoire au mouvement de la tête permettant d'avoir la stabilisation du regard. Un trouble du mécanisme d'action de ce réflexe entraîne un « nystagmus » (mouvement d'oscillation involontaire et saccadé du globe oculaire).

Le système vestibulaire est un organe important impliqué dans l'équilibre. Le cerveau centralise toutes les informations reçues par la proprioception du corps et des informations envoyées par le système vestibulaire.

Une dysfonction du système vestibulaire provoque des symptômes variables, cependant, il est fréquemment rapporté que la dysfonction provoque des vertiges, perte d'équilibre ou instabilité souvent accompagnée de nausée, diminution de la vue¹³.

Ces symptômes sont communs aux symptômes que l'on retrouve chez des patients ayant subis des commotions cérébrales.

1.2 La commotion cérébrale :

1.2.1 Définition de la commotion cérébrale dans la pratique sportive :

La commotion cérébrale liée à la pratique sportive est un traumatisme crânien induit par des forces biomécaniques. Ces forces biomécaniques peuvent être causées par un coup direct à la tête, visage, cou ou n'importe où sur le corps avec une force impulsive transmise à la boîte crânienne. Elle provoque une rapide altération de la fonction neurologique qui se résout spontanément. Dans certains cas les signes et les symptômes peuvent évoluer de quelques minutes à quelques heures¹⁴. Certains de ces symptômes peuvent persister pendant plusieurs jours, semaines voire mois¹⁵. Elle peut être accompagnée, ou non d'une perte de connaissance.

Les signes cliniques et symptômes reflètent largement un trouble fonctionnel plus qu'un trouble d'une structure car l'imagerie structurale est normale dans les cas de commotions cérébrales.

Les signes physiques :

- Maux de tête (symptôme le plus commun)
- Vertige
- Vomissement
- Nausée
- Perte de coordination motrice
- Perte d'équilibre (2nd symptôme le plus commun)
- Vision trouble
- Sensitivité à la lumière

Les signes cognitifs et émotionnel :

- Confusion
- Désorientation spatio-temporelle
- Troubles de l'attention
- Amnésie post-traumatique
- Troubles du sommeil
- Troubles comportementaux et émotionnel

Ces signes ne sont pas spécifiques à la commotion cérébrale mais sont retrouvés dans les traumatismes crâniens.

De plus, il existe aussi un phénomène que l'on nomme la sub-commotion¹⁶. C'est une commotion cérébrale légère provoqué par un coup à la tête suffisant pour provoquer une légère altération des fonctions neurologiques pendant un bref instant tel que la vision « d'étoiles » ou l'impression d'être assommé. Le coup n'est pas suffisant pour provoquer une commotion cérébrale. Des études récentes ont trouvé de potentiels mécanismes pouvant expliquer les complications des sub-commotions. Les explications sont : l'altération dans l'intégrité de la barrière hémato-encéphalique, une neuro inflammation, une altération cognitive, des dégâts causés par stress oxydatif ainsi que d'autres changement dans le système nerveux central très variables. Ces explications rendent la compréhension du mécanisme compliqué. Il semblerait qu'il y aurait un lien entre l'altération des fonctions cérébro-vasculaires et l'altération cognitive, cependant davantage d'études doit être fait dans ce sens¹⁷.

Le manque de classification et de différences dans l'approche de ses différentes pathologies que sont les traumatismes crâniens, les commotions cérébrales et les sub-commotions démontre un manque de spécificité dans les différents test diagnostiques. Actuellement à la suite d'un traumatisme ou choc crânien provoquant une perte de connaissance le test diagnostique employé pour confirmer une commotion cérébrale est le test de Glasgow (Glasgow Coma Scale). Une commotion est diagnostiquée si le score de Glasgow se situe entre 13 et 15. La sévérité de la commotion sera inversement proportionnelle au score de Glasgow

et qualifiée de modérée ainsi que sévère¹⁸. Cependant d'autres facteurs sont à prendre en considération concernant la sévérité de la commotion cérébrale tel que la durée de la perte de connaissance, la durée de l'amnésie¹⁹.

Les techniques de diagnostics ont été améliorés avec l'apparition de questionnaire à remplir pour les sportifs après un traumatisme crânien ou après une répétition de choc à la tête (quelle que soit la force du choc) suspectant une commotion cérébrale. Ce test est le « SCAT 5 » (Sport Concussion Assessment Tool), 5^{ème} version du SCAT mis en place par le « CISG » (Concussion In Sport Group) actualisé avec les nouvelles informations de recherche scientifique en 2016. Cela permet d'avoir un outil le plus spécifique possible quant au diagnostic de la commotion cérébrale liée au sport²⁰.

Cet outil se décompose en 2 phase, une immédiate après la blessure ou le choc évaluant l'état de conscience, la mémoire, l'équilibre, l'orientation spatio-temporelle, douleur. La deuxième phase se déroule à l'écart du terrain sportif, à distance de la blessure, après un repos du sportif et évalue les symptômes de l'équilibre, les capacités cognitives, la concentration et mémoire du sujet. Annexe 1

1.2.2 Epidémiologie :

L'estimation des commotions cérébrales lié au sport est estimée entre 128 à 600 pour 100 000 habitants par an aux Etats-Unis^{21 22}. Elle représente environ 300 000 commotions par an chez les sportifs et 20% des commotions totales. La majorité des commotions cérébrales déclarées sont à la suite d'une perte de connaissance. Cela ne prend donc pas en considération toutes les sub-commotions, et les commotions brèves non rapportées²³. Effectivement, sur une étude de 2004 auprès des joueurs de football américain demandant s'ils ont subi une commotion cérébrale, 29.9% ont répondu positifs, 15.3% ont subi une commotion lors d'un match et seulement 47.3% ont rapporté leurs blessures. L'explication de la non-déclaration de la blessure provenait des joueurs qui sous évaluent l'importance de ce type de traumatisme. En effet ils estiment qu'à la suite d'un choc crânien, ils ne nécessitent pas d'attention médicale pour pouvoir rester en jeu. Cela est la conséquence d'un manque de connaissance chez les sportifs de l'implications des commotions cérébrales sur leurs avenir médical et sportifs²⁴.

En France, la seule information à disposition est une étude épidémiologique des traumatismes crâniens en France et dans les pays occidentaux. Cette dernière estime à 100 à 300 traumatismes crâniens pour 100 000 par an²⁵.

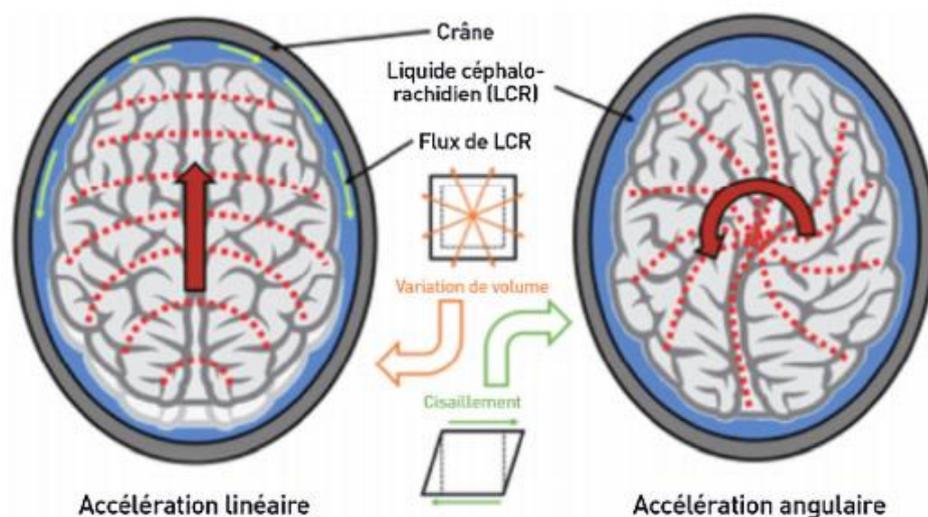
L'âge joue un facteur prédictif car les risques semblent plus élevés chez les sujets jeunes (15-24 ans) et âgés (>65 ans)²⁶. Le genre joue aussi un rôle, même si en nombre les hommes subissent plus de commotions cérébrales liées au sport, en proportion les femmes semblent d'être plus à risque de subir une commotion cérébrale lors de leurs pratiques. Les différences hormonales, une force musculaire moins importante ou simplement le plus grand nombre de reports de commotion cérébrale sont les raisons qui sont avancées à ce jour²⁷.

Les sports de prédilection exposés à ce risque sont les sports de combat dont la boxe, les sports de combat mixtes (MMA) ainsi que le football américain et le hockey sur glace. Dans ces sports, les sportifs portent un équipement de protection, casque et épaulières pour le football américain et le hockey, gants de protection pour la boxe et le MMA. Or il a été prouvé que le sentiment de protection donnait lieu à des actions sans considération et que la limitation de cette protection diminuait les actions téméraires. C'est une adaptation comportementale en rapport avec le risque perçu. Cet effet se nomme « risk compensation » ou encore « effet Peltzman ». De plus la surprotection par l'exemple des casques ou des gants épais ne réduisait pas le risque de commotions cérébrales mais cependant permet au sportif de pouvoir utiliser tout son potentiel physique sans blessures²⁸.

1.2.3 Le mécanisme de la commotion cérébrale :

La commotion cérébrale est la résultante de divers mécanismes tel que l'impact, l'inertie, la pénétration. La boîte crânienne étant le contenant protecteur du cerveau, ce dernier va subir les mouvements du crâne par phénomène d'inertie. Cet effet d'inertie comporte les coups portés directement à la tête mais aussi les chocs, assez puissants, provoquant une mise en mouvements rapides de la tête. Ces mouvements sont des accélérations et il en existe 2 types qui sont les accélérations linéaires et les accélérations angulaires. Les accélérations seront angulaires lorsqu'un angle entre l'impact et le centre de gravité de la tête (supposé que la tête soit un corps rigide seul, le centre de gravité serait environ 2 cm antérieur et supérieur au méat auditif externe dans le plan sagittal médian)²⁹.

Figure 1 : Schéma de la déformation par accélération linéaires et accélérations angulaires
30

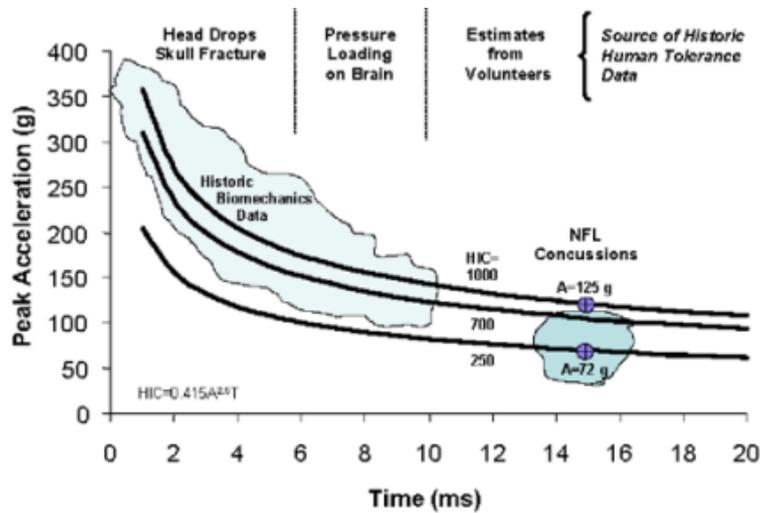


L'importance de l'accélération de la tête dans les pathologies de commotions cérébrales a été comprise et démontré par Denny-Brown et Al en 1940. L'accélération linéaire a été étudié depuis les années 1960, cette accélération résultant d'impacts à la tête est corrélée à des

changements de pression intracrânienne par (Lissner et al.) L'augmentation entre la pression intracrânienne semble être en lien avec l'apparition de dysfonctions neurologiques³¹.

Une courbe de tolérance a été développée montrant la corrélation du risque de blessure avec l'accélération linéaire sur une durée spécifique³².

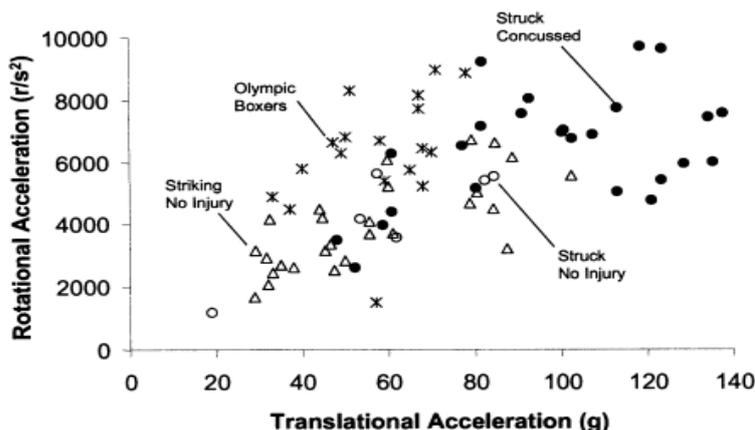
Figure 2³³: Courbe de tolérance par rapport à l'accélération linéaire sur la durée de l'impact



Parmi les 2 types d'accélération décrites (angulaire et linéaire), l'accélération causant le plus de dommage pour le cerveau est l'accélération angulaire par rapport à l'accélération linéaire. Les accélérations angulaires semblent produire plus fréquemment, chez des primates (modèle animal expérimental validé), des commotions cérébrales légère ou plus sévère³⁴.

A propos des sports de combats, la plupart des K.O (Knock Out) sont provoqués par des coups portés à la tête. Une étude épidémiologique a montré que la majorité de KO étaient dû par des coups portés à la tête, 62% des K.O provient de cette raison³⁵. Effectivement la majorité des coups portés à la tête sont souvent effectués avec un angle, cet angle provoque donc une accélération angulaire rapide de la boîte crânienne.

Comme le démontre ce graphique : Figure 3³⁶ : Graphique montrant la répartition des commotions cérébrales en fonction du type de rotations subis



Les « X » correspondent à des commotions cérébrales de boxers Olympic ; les « ● » correspondent à des commotions cérébrales de joueurs de football américains ; les symboles vides correspondent à des chocs sans commotions cérébrales. Cela prouve que les 2 types d'accélération jouent un impact dans la survenue de commotions cérébrales.

Une revue étudiant les joueurs de football américain semble prouver qu'il y avait bien un lien entre l'accélération de la tête (linéaire et angulaire) avec les commotions cérébrales liées à la pratique sportive avec cependant une variation individuel considérable³⁷.

1.2.4 Physiopathologie :

La particularité de la commotion cérébrale est que les signes et symptômes neurologiques sont transmis au cerveau après le choc biomécanique en l'absence de lésion neuronales macroscopiques. De plus la commotion cérébrale liée au sport (traumatismes cérébraux légers répétés) partage les mêmes caractéristiques que les commotions cérébrales reporté et diagnostiqués.

Compte tenu des complications des commotions cérébrales (court et long termes) la physiopathologie se découpe en une physiopathologie aiguë et d'une chronique

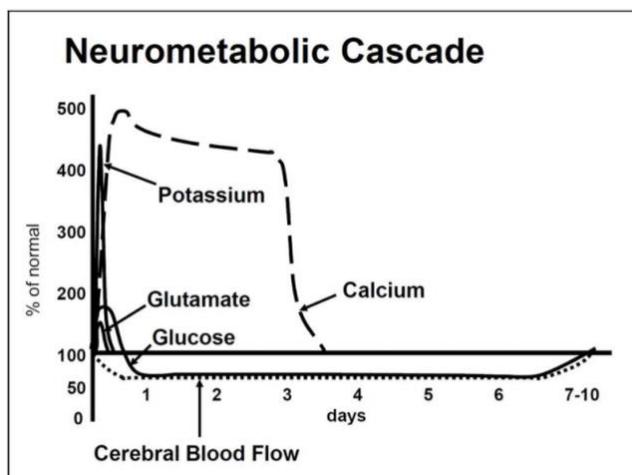
Elle est décrite comme une cascade neurométabolique³⁸.

Physiopathologie aiguë³⁹ :

- Flux ionique et libération de glutamate :

Les lésions biomécaniques provoquent un flux ionique et une libération de glutamate en phase hyper aiguë^{40 41}. Un défaut membranaire par le traumatisme semble s'opérer entraînant un efflux de potassium et un afflux de sodium ainsi que de calcium. Cette dépolarisation peut déclencher des canaux ioniques voltage-dépendants ou ligand-dépendant. Toute cette cascade neurométabolique entraîne un état diffus de type « depression-étalement » et semblent être la raison des déficiences post commotions cérébrales aiguës.

Figure 4⁴² : Cascade neurométabolique après une commotion cérébrale.



- Crise de l'énergie :

À la suite de la perturbation de l'homéostasie ioniques, les cellules nerveuses vont s'adapter pour retrouver l'équilibre ioniques, ce faisant via les pompes ioniques membranaires ATPase (utilise de l'Adénosine Tri Phosphate). L'adaptation se fait via la surmultiplication de ces pompes entraînant une hyperglycolyse provoquant une diminution des réserves d'énergies intracellulaires⁴³. Or comme montré sur la figure 4, environ 1 jour après la commotion cérébrale il y a une réduction du débit sanguin cérébral. Un déséquilibre se met en place entre des cellules nerveuses traumatiques demandant plus d'énergie et la réduction du débit sanguin cérébral. Dans les études sur modèle animal la durée de cette crise énergétique durent pendant 7-10 jours associée à des troubles d'apprentissage d'orientation spatial^{44 45}.

- Dégâts cytosquelettiques :

Les impacts biomécaniques à la tête endommagent les neurones et la glie dans la microstructure de différents composants incluant l'arborescence dendritiques, les axones et les processus astrocytaires⁴⁶.

- Neurotransmission altérée :

Sur des études avec des modèles scientifiques animaliers, des endommagements dans la composition des sous-unités des récepteurs au glutamate ont été observées après un traumatisme crânien sur cerveau mature et cerveau en développement⁴⁷.

- Inflammation :

Concernant les commotions cérébrales plutôt sévère des changements dans les marqueurs de l'inflammation ont été retrouvés⁴⁸. Il y a une activation et infiltration de microglies après des traumatismes crâniens⁴⁹.

- Mort cellulaire :

Lors d'une commotion cérébrale il y a généralement que très peu de mort cellulaire chez les modèles étudiés de léger traumatismes crâniens, même lorsque des troubles cognitives était mesurables⁵⁰. Cependant la répétition de léger traumatismes crânien semble augmenter le risque de mort cellulaires ou de changement structuraux du a la chronicité⁵¹.

Figure 5 : *Tableau proposant une corrélation clinique après une commotion cérébrales*⁵² :

Physiopathologie post-commotion cérébrale	Symptôme aigu/clinique correspondante
Flux ionique	Migraine, phonophobie, photophobie
Crise énergétique	Vulnérabilité au second impact
Lésion axonale	Altération cognitive, ralentissement, altération du temps de réaction
Neurotransmission altérée	Altération cognitive, ralentissement, altération du temps de réaction
Activation protéase, dommages cytosquelettiques, mort cellulaire	Atrophie chronique, développement de déficiences persistantes

Physiopathologie chronique :

- Crise énergétique et mort cellulaire :

L'évènement d'un traumatisme cérébral léger peut provoquer des perturbations métaboliques chronique pouvant déclencher l'activation de protéases intracellulaires et la cascades entraînant l'apoptose cellulaire. Des études structurales de cerveaux de boxeurs ou d'autres personnes exposées à des commotions cérébrales répétées ont montré une atrophie corticale et de l'hippocampe, la ventriculomégalie, le cavum septum pellucidum et d'autres résultats suggérant d'une mort cellulaire chronique⁵³.

- Modification protéiques et accumulation de toxines :

Des études ont identifié au niveau moléculaire et fonctionnel des changements dans les protéasomes corticaux et hippocampiques après des traumatismes crâniens⁵⁴. Cela peut entraîner l'accumulation de protéines et de toxines intracellulaire provoquant donc une apoptose⁵⁵. Le phénomène d'accumulation de protéines entraînant l'apoptose forcée de la cellule est un phénomène retrouvé dans certaines pathologies neurodégénératives tel que la maladie d'Alzheimer ou de Parkinson.

- Dysfonction axonale chronique :

Une dysfonction axonale peut entraîner un trouble cognitif, temps de réaction accrue, soit par un ralentissement de la conduction, soit par dommages des réseaux cérébraux ou encore par déficit dans la neurotransmission^{56 57}. Des études ont émis la possibilité qu'une dégénération axonale persiste après un traumatisme crânien, même unique^{58 59}. Or la myélinisation semble jouer un rôle protecteur des axones dans les traumatismes crâniens⁶⁰. De ce fait, les dysfonctions axonales chroniques rendent plus important les évènements de commotions cérébrales à répétition.

1.2.5 Complication à court terme :

La 1^{ère} complication à court terme est le syndrome post-commotionnel. Ce syndrome est défini par l'association de différents symptômes apparaissant immédiatement ou à retard (jours, semaines, mois) de la commotion cérébrale. Ces symptômes persistent durant un temps variable en fonction de la sévérité de la commotion.

Ces symptômes servent au diagnostic de la commotion cérébrale décrites dans la définition de la commotion pouvant altérer le domaine physique, cognitif, émotionnel ainsi que le sommeil. Le syndrome post-commotionnel est diagnostiqué quand au moins 3 des symptômes sont réunis⁶¹.

Ce syndrome peut persister plus longtemps chez des sujets ayant subi une commotion cérébrale moins d'une semaine avant le traumatisme ou chez des sujets avec des antécédents de commotions cérébrales⁶². De plus le risque d'apparition d'une 2nd commotion cérébrale est grandement accru par l'altération des différents domaines chez le sportif diminuant leur état

de conscience (92% des 2nd commotions cérébrales ont eu lieu moins de 10 jours après la 1^{ère})⁶³.

Un syndrome spécifique aux jeunes sportifs (<21 ans) étant le syndrome de second impact. Ce syndrome est rare mais peut être létal et survient lorsque le sportif ignore la commotion cérébrale (volontairement ou non)⁶⁴. Ce syndrome peut survenir si la rééducation ou récupération n'est pas complète entre 2 commotions cérébrales⁶⁵. Il se manifeste exactement de la même manière qu'une commotion cérébrale. La maturation cérébrale semble jouer un rôle car le syndrome est exclusif au sportif de moins de 21 ans⁶⁶.

A propos de la récupération, la survenue de maux de tête post-commotionnelles retarde la récupération et un syndrome post-commotionnel plus long⁶⁷. Si les céphalées sont d'origine migraineuse, cela augmente la durée de récupération de 2,6 fois plus importante par rapport à des céphalées non migraineuses⁶⁸.

1.2.6 Complication à long terme⁶⁹ :

Les complications à long terme sont de nos jours regroupées sous une pathologie qu'est l'Encéphalopathie Traumatique Chronique (ETC). C'est une complication majeure car environ 17% des personnes ayant subi des commotions cérébrales ou chocs crâniens répétés développent l'ETC.

C'est une pathologie neurodégénérative découpée en 3 phase apparaissant généralement entre 8-10 ans après de multiples commotions cérébrale ou traumatismes crâniens répétés. Durant la première phase les symptômes sont la confusion, la désorientation, des vertiges ainsi que des céphalées. La seconde phase est décrite par une instabilité sociale et émotionnelle, irritabilité sociale, perte de mémoire et des symptômes initiaux de parkinson. La dernière phase est caractérisée par une dysfonction générale sur le plan cognitif progressant vers une démence accompagnée des symptômes parkinsonien.

Il semblerait que les complications à long terme entraînent l'apparition de différents déficits cognitifs et moteurs avec des variantes tels que la dépression, l'apathie, et des anomalies comportementales⁷⁰.

Cependant il est difficile de pouvoir différencier les symptômes de l'ETC d'autres pathologies neurodégénératives tel que Alzheimer ou Parkinson. Le diagnostic de l'ETC ne peut être fait pendant le vivant du sujet, ce n'est que lors de l'autopsie que l'ETC peut être confirmé chez les sujets⁷¹.

Les connaissances actuelles de l'ETC ne sont pas encore suffisantes pour pouvoir ni diagnostiquer précisément, par différent test ou imagerie, cette pathologie, ni même sur les mécanismes d'action déclenchant.

1.2.7 Traitement :

La prise en charge des commotions cérébrales reste floue. Elle est centrée sur le repos strict après la blessure sans aucune activité physique ou cognitive jusqu'à disparition des symptômes⁷². Le repos total est préconisé car toute activité (physique ou cognitive) consommerait de l'énergie, ce qui est délétère au regard de la crise énergétique cérébrale après la commotion⁷³. Différentes études ont confirmé que le repos physique et surtout cognitif améliore les symptômes ressentis et la performance évaluée sur le test « Immediate Post-Concussion Assessment »⁷⁴. Il faut cependant insister sur la définition de repos strict, une directive de repos reste interprétable par chacun de manière subjective.

Cependant de plus récentes études ont pointé du doigt que le repos strict améliorerait certes les symptômes mais ne permettait pas un retour aux activités physique ou sociale sans risques. Un sujet peu avoir subi une commotion, ne plus ressentir de symptômes mais cependant ne pas être apte à reprendre des activités physiques le rendant plus vulnérable à une récurrence de commotion cérébrales. Pareillement un repos trop prolongé peut amener à un déconditionnement physique (troubles vestibulaires, fatigue chronique, troubles de la douleur), une altération psychologique (état dépressif, stress post-traumatique) et contribuer à prolonger les symptômes et donc retarder la récupération^{75 76}.

C'est pour cela qu'à la 5th conférence internationale sur les commotions cérébrales liées à la pratique sportive ils ont établi un programme de récupération aux vues des dernières mises à jour scientifiques. Ce programme est présenté par étapes et base la stratégie de rééducation autour d'un retour progressif au sport « return to play » (RTP).

Cette stratégie recommanderait une brève période de repos strict (cognitif et physique) de 24 à 48 heures poursuivie par des activités physiques et cognitives très légères ne déclenchant pas l'exacerbation des symptômes de la commotion cérébrale. Chaque étape doit respecter un temps d'au moins 24h avant de passer à l'étape suivante. Si les symptômes réapparaissent ou s'exacerbent, on retourne à l'étape précédente. Ce protocole est très sujet dépendant (âge, histoire personnelle, niveau sportif)⁷⁷.

Figure 6 : Protocol « Return to play »⁷⁸

Stage	Aim	Activity	Goal of each step
1	Symptom-limited activity	Daily activities that do not provoke symptoms	Gradual reintroduction of work/school activities
2	Light aerobic exercise	Walking or stationary cycling at slow to medium pace. No resistance training	Increase heart rate
3	Sport-specific exercise	Running or skating drills. No head impact activities	Add movement
4	Non-contact training drills	Harder training drills, eg, passing drills. May start progressive resistance training	Exercise, coordination and increased thinking
5	Full contact practice	Following medical clearance, participate in normal training activities	Restore confidence and assess functional skills by coaching staff
6	Return to sport	Normal game play	

Ce protocole reste cependant qu'une ligne de conduite dans la rééducation. C'est pour cela que depuis quelques années certaines études explorent différentes techniques de

rééducation pour savoir quels sont les outils thérapeutiques pour pouvoir rééduquer des patients après une commotion cérébrale.

Les différentes explorations de rééducation sont⁷⁹ :

- Intervention psycho éducationnel
- Intervention psychologique
- Rééducation cognitive
- Thérapie manuelle
- Rééducation vestibulaire
- Rééducation oculaire
- Rééducation physique d'exercice aérobie
- Travail du test « Buffalo Concussion Treadmill test »

Nous allons nous intéresser à la rééducation vestibulaire.

Le symptôme le plus commun reporté lors de commotions liées à la pratique sportive après les céphalées sont les vertiges. 50-84% des athlètes ont rapporté avoir des vertiges après leurs commotions cérébrales^{80 81 82}.

Une étude rétrospective sur des sujets pédiatriques a observé 81% de troubles vestibulaires et retardant significativement leurs retours aux activités (56 jours) et leurs retours au sport (106 jours) après commotion⁸³.

Une autre étude pédiatrique a associé que les patients ayant subis une commotion cérébrale entraînant une dysfonction vestibulo-oculaire ont un risque plus important de développer un syndrome post-commotionnel⁸⁴.

Les études sur des sujets pédiatrique n'ont rien à voir avec des sujets adultes, elle permet tout de même de relever l'importance du système vestibulaire impliqué dans cette blessure.

Il semble logique qu'une rééducation axée sur le domaine vestibulaire améliore donc les symptômes associés à l'atteinte vestibulaire mais aussi la récupération après commotion cérébrale et les risques qui en découlent.

Ces informations renforcent l'intérêt d'explorer cette voie thérapeutique concernant les patients après une commotion cérébrale lié à la pratique sportive.

La rééducation vestibulaire a pour objectif de stimuler le réflexe vestibulo-oculaire ainsi que de tonifier le réflexe vestibulo-spinal. Cela correspond respectivement à la coordination de la vision avec les mouvements de la tête et à l'équilibre incluant la proprioception. Le but est de rendre les vestibules symétriques par des exercices rotatoires ou positionnels.

Un des facteurs de bon pronostic pour le patient est la rapidité de la prise en charge rééducative en regard du trouble. Cela s'introduit parfaitement avec le protocole « Return To Play » présenté précédemment préconisant une reprise précoce et progressive de différentes activités et rééducations (infra symptomatiques). La sévérité de la commotion ainsi que l'âge du sujet sont aussi des facteurs à prendre en compte lors de la rééducation vestibulaire. La rééducation est particulière car très fatigante pour le patient car il y a une action directe avec

le système nerveux central, or ce dernier est en pleine crise énergétique. La rééducation doit donc être progressive et adapté au patient après différent bilans (Par exemple le « The Dizziness Handicap Inventory ⁸⁵»). Le praticien doit être vigilant lors de la rééducation a l'apparition de signes annonciateurs tel qu'une réaction vagale, sueurs, nausées, pâleur, vomissements, pertes de connaissances.

La rééducation vestibulaire se focalise sur la fonction oculomotrice, la marche ainsi que l'équilibre via l'intégration sensitivomoteur et l'accoutumance a la sensibilité motrice⁸⁶.

2 Méthode :

Toute ces informations démontrent l'importance d'investiguer et d'étudier les différentes techniques thérapeutiques à la rééducation de patients ayant subi une commotion cérébrale liée à la pratique sportive. L'importance est équivalente concernant les complications à court et à long terme chez les patients.

La problématique est d'ordre thérapeutique. On cherche à évaluer l'efficacité de la rééducation vestibulaire chez des patients ayant subi une commotion cérébrale liée à la pratique sportive concernant les sports de combats.

Une revue systématique comportant une méta-analyse est réalisée à propos d'études ayant récemment investigués, ou non, la piste thérapeutique de la rééducation vestibulaire. Cette revue a pour but de connaitre les effets permettant d'adapter la pratique future dans la prise en charge des commotions cérébrales liées à la pratique sportive.

2.1 Critères d'éligibilité des études pour cette revue :

L'élaboration de la question de recherche a suivi l'indice PICO (Population/Pathologie ; Intervention ; Comparateur ; Outcome / critère de jugement)

Population / Pathologie :

La population concernée par cette revue sont les sportifs de combats. Or il existe peu d'études interventionnel en faveur de la rééducation vestibulaire, encore moins concernant cette population. Une population plus favorable dans les études sont les joueurs de football américain, joueurs de hockey sur glace ou encore des patients pédiatriques. C'est pour cette raison que la population ne sera pas un critère d'éligibilité à la sélection de l'étude. Les populations permettront d'appliquer les observations à la population des sportifs de combats. La pathologie concerne des sujets ayant subis une commotion cérébrale liée à la pratique sportive.

Intervention : Rééducation vestibulaire seul ou associée à d'autres types de rééducation.

Comparateur : Absence de traitement, repos strict, rééducation active sans rééducation vestibulaire.

Outcome / critère de jugement : Le temps de la reprise d'activités sportives (return to play) ou la modification des symptômes via différents questionnaires ou test (DHI, BESS, VSS, HiMAT, RPQ, QOLIBRI).

2.2 Méthodologie de recherche des études :

La recherche c'est intégralement déroulé via la base de données médicale Pub Med. La majorité des articles publiés dans cette thématique se situe entre 2014 et 2020. L'année de publication n'a donc pas été un motif d'exclusion dans la recherche des études.

La langue était uniquement de l'anglais. Étant donné la prévalence préférentielle des commotions cérébrales liées à la pratique sportive à l'Amérique du nord la totalité des articles étaient en anglais.

L'équation de recherche a été élaborée en fonction du schéma d'études suivant l'indice PICO. Chaque item PICO aura un mot clef suivi de plusieurs synonymes permettant d'élargir et d'avoir le maximum d'articles.

Voici mon équation de recherche :

Pathologie / Population : (Concussion OR "sport related concussion" OR "traumatic brain injury" OR "mild traumatic brain injury" OR "cerebral concussion" OR "brain concussion" OR "mTBI") AND (combat sports OR "boxe" OR "boxing" OR "mma" OR "contact sports" OR "athlete" OR "athletes" OR "collision sports" OR "sport" OR "sports")

Intervention / Comparateur : (vestibular rehabilitation OR "rest" OR "vestibulo-ocular" OR "vestibulo-spinal" OR "posture" OR "balance" OR "gaze" OR "strict rest" OR "gait rehabilitation" OR "stability") AND (rehabilitation)

Outcome / critère de jugement : (return to play OR "return to school" OR "RTP" OR "Clearance" OR "asymptomatic")

Equation de recherche complète :

(Concussion OR "sport related concussion" OR "traumatic brain injury" OR "mild traumatic brain injury" OR "cerebral concussion" OR "brain concussion" OR "mTBI") AND (vestibular rehabilitation OR "rest" OR "vestibulo-ocular" OR "vestibulo-spinal" OR "posture" OR "balance" OR "gaze" OR "strict rest" OR "gait rehabilitation" OR "stability") AND (rehabilitation) AND (combat sports OR "boxe" OR "boxing" OR "mma" OR "contact sports" OR "athlete" OR "athletes" OR "collision sports" OR "sport" OR "sports") AND (return to play OR "return to school" OR "RTP" OR "Clearance" OR "asymptomatic")

2.3 Méthode d'extraction et d'analyse des données :

2.3.1 Méthode de sélection des études :

La sélection des études s'effectue en 4 étapes. L'identification, la sélection, l'admissibilité et enfin l'inclusion. Le diagramme de flux est le schéma le plus adapté pour illustrer le processus d'inclusion des études.

L'identification correspond à l'élaboration des différents critères dirigé par l'indice PICO donnant l'équation de recherche. Après résultats, apportant un ensemble d'articles en rapport avec notre équation de recherche, une sélection primaire basé sur le titre des articles est effectuée. Les articles exclus durant cette étape seront les articles possédant des titres ne correspondant pas au sujet traité, les doublons ainsi que les articles rédigés dans une langue différente de l'anglais.

La seconde étape correspond à l'étape de sélection sur la base de l'abstract. Lors de cette étape les articles seront exclus selon différents critères. Les critères d'exclusions sont : Une population sans commotions cérébrales, évaluation différente de l'Outcome (cf Critères d'éligibilité des études pour cette revue).

La troisième étape correspond la vérification du contenu des articles. A cette étape l'admissibilité des articles est basée sur la lecture intégrale de l'article. Les critères d'exclusions sont : les doublons pour éviter une sur-représentation des résultats, biais de d'interprétation, biais de sélection, biais d'attributions.

La dernière étape est celle de l'inclusion des articles ayant persistés au travers des différentes étapes. Ces articles seront inclus dans la méta-analyse.

2.3.2 Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées :

Cette évaluation est utile pour quantifier les biais méthodologiques d'une étude. Dans le cadre de notre problématique, c'est une question thérapeutique, l'échelle a utilisé est l'échelle PEDro. Elle a été conçue pour évaluer la qualité des essais cliniques⁸⁷. L'échelle comporte 11 différents items, tels que : la répartition respecte-t'elle une assignation secrète ? si le traitement est administré en aveugle, si tous les examinateurs sont en aveugle pour au moins un critère de jugement essentiels etc.. (Annexe 2). Cette échelle permet de savoir si une étude clinique possède une bonne validité interne, si elle possède suffisamment de données statistiques pour pouvoir interpréter les résultats. Un score PEDro allant de 0 à 4 sera considéré comme une étude pauvre, de 4 à 5 moyennes, 6 à 8 bonne et de 9 à 10 excellente. Les études seront considérées comme optimal à partir d'un score de 8 sur l'échelle de PEDro

Chaque article inclus dans la méta-analyse sera donc sujet a une évaluation de sa qualité méthodologique via l'échelle PEDro.

Une autre échelle de biais existe pour évaluer la qualité méthodologique des études aux question thérapeutique, C'est le « Risk of Bias tool ». Elle couvre 6 domaines comprenant : les biais

de sélections, les biais de performance, les biais de détections, les biais d'attributions, les biais de rapport et les biais autres⁸⁸. Elle se représente par un tableau (Annexe 3)

2.3.3 Extraction des données :

L'ensemble des articles sont répertorié dans le logiciel Mendeley Desktop. Les différentes études incluses pourront être gérer via ce logiciel grâce à la création de dossier et sous dossier facilitant la sauvegarde des articles retenus. Un système de mis en favoris des articles enregistrés est aussi un outil facilitant la gestion.

Méthode de synthèse des résultats :

Lors de l'analyse intégrale et extractions des résultats des articles retenus via Mendeley les résultats seront présentés premièrement par les caractéristiques de chacune des études sous forme de tableau. Ce tableau de synthèse aura pour but une présentation synthétique des articles.

Le tableau présentera l'auteur principal ainsi que l'année de publication, le type d'études, la taille de l'échantillon, la description des sujets de l'étude, la description du traitement ainsi que du comparateur, les différentes caractéristiques concernant les critères de jugements (return to play, état des vertiges, évaluation de l'équilibre, tests).

Un second tableau sera présenté à propos de l'évaluation méthodologique des études via l'échelle PEDro avec le détail de chacun des 11 items concernant chaque article et le score total. Cela donnera une vision globale de la qualité méthodologique des articles.

Concernant les résultats des études ils seront exposés dans un tableau type « Forest plot ». Ce tableau permettra de comparer les différents résultats des études et de pouvoir interpréter les résultats de cette méta-analyse.

3 Résultats

3.1 Inclusions des études

L'identification correspond au résultat de l'équation de recherche évoquée dans la partie de Méthodologie. L'équation de recherche dans la base de données PubMed nous propose 106 résultats datant de 1999 à 2021.

Après les résultats obtenus, une sélection sur la base du titre est effectuée, 46 articles sont sélectionnés, 60 sont donc exclus. L'exclusion des articles concerne majoritairement des articles n'incluant pas la rééducation vestibulaire dans leurs titres.

Sur les articles restant l'abstract a été entièrement lu. À la suite de cette lecture, 18 articles sont sélectionnés. Les raisons d'exclusions des articles sont : Revues narratives, Revues de littérature, Cas clinique unique, l'effet de la rééducation vestibulaire n'y ait pas étudié.

3 articles sont sélectionnés après lecture critique intégrale des articles, les causes d'exclusions sont : Etudes pilotes, protocole d'études d'essai contrôlé randomisé, rééducation vestibulaire étudié à visée diagnostique, études pronostiques et étiologiques.

Concernant les articles sélectionnés ils feront l'objet d'une étude qualitative. L'échelle PEDro objectivera cette étude et quantifiera le niveau de biais méthodologique présent dans les études.

Les 3 études seront analysées quantitativement et séparément car les critères principaux sont différents, un article exprime ses résultats de critères secondaires par rapport à leurs médianes et non leurs moyennes rendant l'inclusion des résultats dans le Forest plot impossible. 2 études sont identiques, seul le critère principal diffère mais est cependant intéressant et sera conservé. Pour permettre une analyse quantitative des critères de jugements 3 études (non-essai contrôlé randomisé) sont ajoutées.

L'identification est représentée par un diagramme de flux (Figure 7)

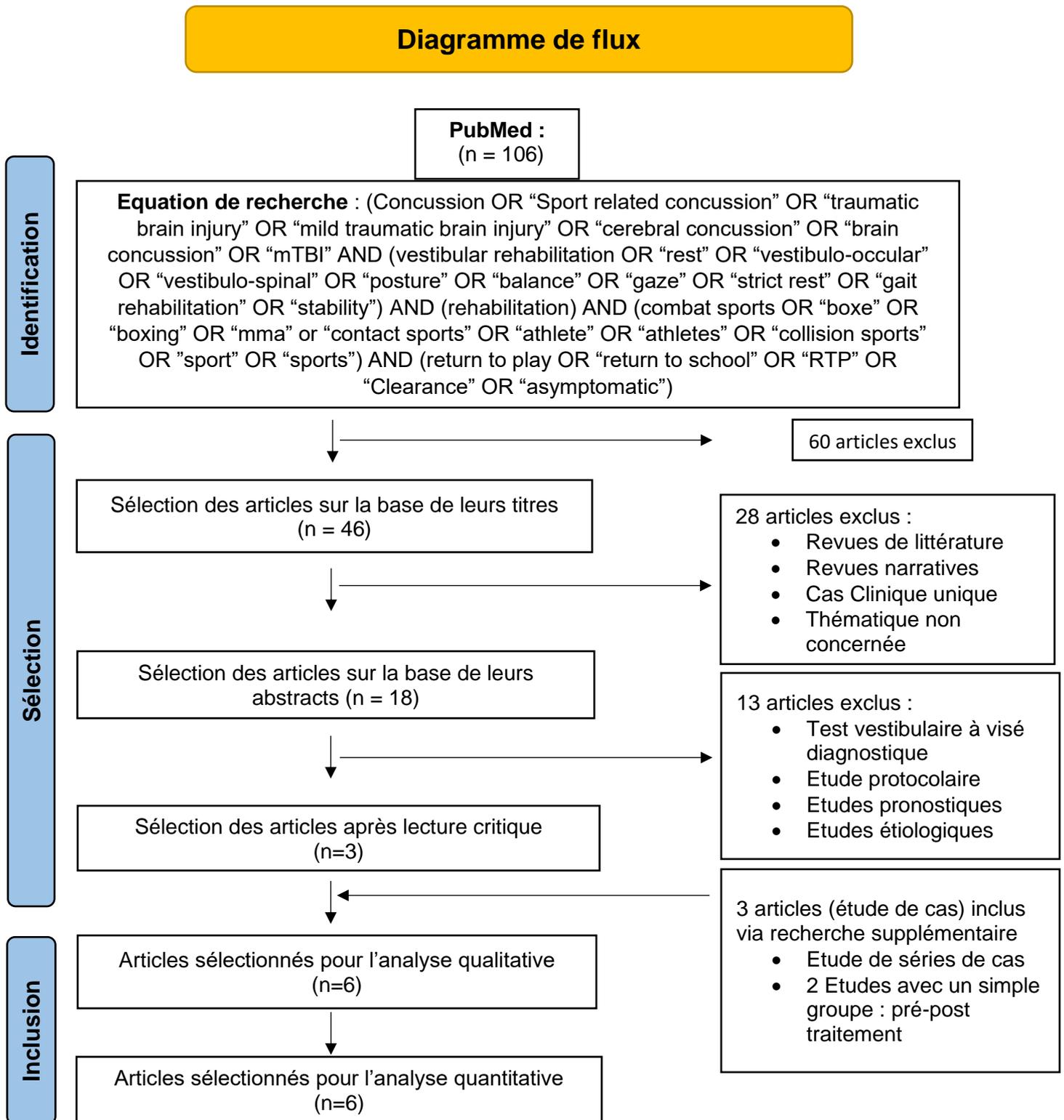
3.2 Description des études

Le design de ces études sont des essais contrôlés randomisés, soit le meilleur design d'étude pour une question thérapeutique. La population totale des 3 articles est de 96 patients, une étude comptabilise 31 patients avec une moyenne d'âge de 15 ans (pour les 2 groupes), une autre étude 65 patients avec une moyenne d'âge de 39.4 ans et la dernière 65 patients avec une moyenne d'âge de 39.4 ans. 2 études ont partagé la même population [90-91].

Les critères d'inclusion de l'étude de Schneider et al., 2014⁸⁹ sont :

- Âge compris en 12 et 30 ans
- Diagnostique d'une commotion cérébrale liée à la pratique sportive (basé sur la 3^{ème} conférence du consensus international de la commotion dans le sport)
- Symptômes persistents (>10 jours) de vertiges, douleur cervicale, céphalées (via le questionnaire SCAT 2)
- Examen clinique suggérant l'implication d'un trouble du système vestibulaire et/ou un trouble cervico-spinal.
- Consentement à participer à l'étude (consentement parental si âge < 18)

Figure 7 : Diagramme de flux



From: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71

Les critères d'inclusions des 2 autres études (Kleffellgaard et al., 2018⁹⁰ / Sjøberg et al., 2021⁹¹) :

- Traumatisme crânien
- Âge compris entre 16 et 60 ans
- Symptômes légers, modérés ou sévères de vertiges (vertiges \geq 2 sur le questionnaire Rivermead Post-Concussion Symptoms)
- Ou positif au test de Romberg
- Consentement écrits requis

Les critères d'exclusion de l'étude de Schneider et al., 2014 sont :

- Fractures
- Troubles neurologiques
- Blessures musculosquelettiques (sauf cervico-spinal) qui réduit l'activité ou affecte l'adaptations neuronales

Les critères d'exclusions des 2 autres études (Kleffellgaard et al., 2018 / Sjøberg et al., 2021) :

- Troubles psychologique sévère
- Consommation abusive de médicaments
- Fractures
- Comorbidités affectant la mobilité et la marche indépendante
- Score < 15 au questionnaire Dizziness Handicap Inventory (DHI)

Les 2 études (Kleffellgaard et al., 2018 / Sjøberg et al., 2021) ont obtenu l'approbation des protocoles d'étude par le comité d'éthique de recherche médical de Norvège. Concernant l'étude de Schneider et al., 2014, aucune mention d'approbation des protocoles par quelconque comité d'éthique est présente.

Les critères de jugements principaux dans les études sont tous différents les uns des autres. Une s'intéresse sur le nombre de jour avant le retour à l'activité sportive, que l'on nomme Return to play (RTP). Une autre au score du questionnaire de vertiges (DHI), étant un des symptômes principaux à la suite d'un traumatisme crânien. La dernière étudie la qualité de vie après traumatisme crânien.

2 études (Kleffellgaard et al., 2018 / Sjøberg et al., 2021) sont similaires, provenant de la même équipe de recherche, seulement le critère principal diffère. De ce fait leurs résultats concernant les critères secondaires seront confondus et compteront comme 1 seule étude.

L'étude de Schneider et al., 2014, s'intéresse à la rééducation vestibulaire associé à une rééducation cervico-spinal comparé à un traitement contrôle. Le but est d'étudier l'efficacité de la rééducation vestibulaire et cervico-spinal associé. La rééducation cervico-spinal comprend de la thérapie manuelle des vertèbres cervicales et thoraciques, la rééducation cervico-spinal ainsi que des exercices de rééducation sensorimotrices. La rééducation vestibulaire comprend un programme d'accoutumance individuel, des exercices de stabilisations du regard, des exercices d'équilibre en station debout, équilibre dynamique ainsi que des manœuvres de repositionnement vestibulaires (types de manœuvres non spécifié).

La fréquence thérapeutique est de 1 séance par semaine pendant 8 semaines ou jusqu'à l'autorisation médicale de reprise sportive. Le groupe expérimental effectue en plus le traitement du groupe contrôle, l'association des 2 types de traitement (contrôle et expérimental) est appliqué au libre arbitre du thérapeute. Le groupe contrôle a également 1 séance de rééducation par semaine pendant 8 semaines ou jusqu'à l'autorisation médicale de reprise sportive. Le traitement consiste en une série d'exercices non pertinents en regard de leurs symptômes comprenant de la recherche d'amplitudes de mouvements, des étirements, des séances d'éducation posturale. Une dose d'activité quotidienne a été recommandée pour assurer l'adhérence du programme à domicile.

Les études de Kleffellgaard et al., 2018 et Sjøberg et al., 2021 s'intéressent à l'effet de la rééducation vestibulaire comparé à un groupe contrôle. Les 2 groupes (expérimentale et contrôle) ont accès à une prise en charge pluridisciplinaire nommée « TAU »⁹². Cette prise en charge consiste en un programme de suivi personnalisé et un groupe d'éducation psychologique 1 fois par semaine pendant 4 semaines à la suite. L'élaboration d'un programme de RTW « Return To Work » (Retour Au Travail) était employé en fonction de la problématique des patients géré par un médecin spécialiste en rééducation. Un ergothérapeute prend en charge les troubles de la mémoire et la structuration de la journée. Un neurologue prend en charge la détresse psychologique ou les difficultés cognitives. Le médecin prend en charge les troubles médicaux généraux (tel les exacerbations). Le groupe expérimental subit en plus une intervention de rééducation vestibulaire. Cette rééducation se base : sur les symptômes des patients observés lors des évaluations par les praticiens, des exercices d'accoutumance motrices, de stabilisations du regard, d'équilibres, des exercices de Brandt-Daroff. La fréquence d'application de la rééducation vestibulaire est de 2 séances par semaines pendant 8 semaines (16 séances au total). Associé à la rééducation vestibulaire le groupe expérimental subit une série d'exercices à domicile (2 à 5 exercices) spécifiques au patient et une activité journalière (marche, vélo, ski).

Si les patients présentent un test de positionnement positif (Dix-Hallpike et Roll test) ils bénéficiaient de manœuvres de repositionnement (Manœuvres d'Epley et Bar-B-Que Roll) pour des raisons éthiques

Un tableau récapitulatif de synthèse de ces études est mis à disposition (Cf figure 9).

Voici le tableau récapitulatif et descriptif des études de cas.

Figure 8 : *Tableau récapitulatif des études de cas :*

	Moore et al., 2016⁹³	Kontos et al., 2018⁹⁴	Kleffelgaard et al., 2015⁹⁵
Type d'étude	Etudes de cas	Etudes de cas	Etudes de cas
Population de l'étude	n= 14 (6H/8F) moyenne d'âge de 43.57 ans 3/8 symptômes de syndrome post commotion Groupe jeune adulte : n=8 : moyenne d'âge de 31 ans Groupe adulte plus âgé : n=6 ; moyenne d'âge 59 ans	n=51 1 à 3 ans après diagnostique d'un léger traumatisme crânien avec symptômes persistant 25 patients n'ayant pas complété les données. n=26 (20H/6F) moyenne d'âge 37 ans.	n=4 (2H/2F) moyenne d'âge 36 ans Diagnostiqué avec un traumatisme crânien rapportant des vertiges via RPCQ et/ou positif au test de Romberg
Intervention	Rééducation vestibulaire : Exercices de stabilisation du regard (dynamique et statique), organisation sensorielle et la marche. Entraînement aérobique sur un vélo fixe En complément si nécessité : Thérapie cognitive comportemental, psychologue, ergothérapeute et un kinésithérapeute orthopédique	Traitement pluridisciplinaire impliquant une rééducation comportementale, vestibulaire, visuel et à l'effort.	Rééducation vestibulaire modifié : Exercices d'équilibre, stabilité du regard, d'accoutumance, relaxation, programme d'exercices à domicile
Critères de jugements	Critères de jugements : Rivermead Post Concussion Questionnaire Dizziness Handicap Inventory Activities-Specific Balance Confidence Scale Functional Gait Assessment Return to work/study Return to sport	Critère de jugements : Post-concussion Symptom Scale Dizziness Handicap Inventory Immediate Post-Concussion Assessment Cognitive Test Vestibular/Ocular Motor Screening Activities-Specific Balance Confidence Balance Error Scoring System Neck Disability Index	Critères de jugements : Dizziness Handicap Inventory Vertigo Symptom Scale-Short Form Rivermead Post-Concussion Symptoms Questionnaire Quality of life after traumatic brain injury Hospital Anxiety and Depression Balance Error Scoring System High Mobility Assessment Tool for Traumatic Brain Injury
Outils de comparaison	Pas de comparaison. La caractéristiques différentiel entre les 2 groupes est l'âge	Pas de comparaison, étude de l'effet pré traitement et post traitement	Pas de comparaison, étude de l'effet pré traitement et post traitement

Figure 9 : Tableau récapitulatif des essais cliniques randomisés.

	Schneider et al., 2014	Kleffelgaard et al., 2018	Søberg et al., 2021
Type d'étude	Essai contrôlé randomisé	Essai contrôlé randomisé	Essai contrôlé randomisé
Population de l'étude	<p>n =31 (18H/13F) Age compris entre 12-30 ans.. Assignation au hasard.</p> <p>Groupe contrôle : n=16 (7H / 9 F) Moyenne âge : 15 ans</p> <p>Groupe intervention : n=15 (11H / 4 F) Moyenne âge : 15 ans</p>	<p>n= 65 (45F/20H) Assignation au hasard</p> <p>Groupe contrôle : n=31 (22F/9H) Moyenne âge : 41.2 ans</p> <p>Groupe intervention : n=33 (23F/10H) Moyenne âge : 37.6 ans</p>	<p>n=64 (45F/19H) Assignation au hasard. Moyenne d'âge 39.4 ans</p> <p>Pas d'information explicite sur la composition des groupes interventions et contrôle.</p>
Intervention	<p>1 séance / semaine pendant 8 semaines ou jusqu'à l'autorisation médical pour un retour à la pratique sportive.</p> <p>Inclus le traitement contrôle + rééducation cervico-spinal et rééducation vestibulaire.</p>	<p>Rééducation pluridisciplinaire habituelle (TAU) + Rééducation vestibulaire en 16 séances sur 8 semaines.</p> <p>Une série d'exercices à domicile spécifiques et une activité journalière tel que la marche, du vélo ou du ski.</p> <p>Possibilité de participer à 4 semaines d'éducation psychologique en groupe.</p>	<p>Rééducation pluridisciplinaire habituelle (TAU) + Rééducation vestibulaire en 16 séances sur 8 semaines.</p> <p>Une série d'exercices à domicile spécifiques et une activité journalière tel que la marche, du vélo ou du ski.</p> <p>Possibilité de participer à 4 semaines d'éducation psychologique en groupe.</p>
Critères de jugements	<p><u>Critère principal</u> : Nombre de jour avant l'autorisation médicale de reprendre l'activité sportive</p> <p><u>Critères secondaires</u> :</p> <p>11-point Numeric Pain Rating Scale score, Activities-specific Balance Confidence Scale (ABC), Dizziness Handicap Index (DHI), SCAT2, Dynamic Visual Acuity, Head Thrust Test, modified Motion Sensitivity Test, Functional Gait Assessment (FGA), Cervical Flexor Endurance (CFE) and Joint Position Error (JPE) test</p>	<p><u>Critère principal</u> : DHI (Dizziness Handicap Inventory)</p> <p><u>Critères secondaires</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - High-level Mobility Assessment Tool pour traumatisme crânien. <p><u>Autres critères</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vertigo Symptom Scale-Short Form - Rivermead Post-concussion Symptoms Questionnaire - Hospital Anxiety and Depression Scale - Balance Error Scoring System 	<p><u>Critère principal</u> : PROM Quality of Life after Brain Injury (QOLIBRI).</p> <p><u>Critères secondaires</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rivermead Post-concussion Symptoms Questionnaire (RPSQ) - Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS) - Vertigo Symptom Scale-Short Form - Dizziness Handicap Inventory

Outil de comparaison	1 séance / semaine pendant 8 semaines ou jusqu'à l'autorisation médicale pour un retour à la pratique sportive.	Rééducation pluridisciplinaire habituelle (TAU) Après 8 semaines possibilité de participer à 4 semaines d'éducation psychologique en groupe.	Rééducation pluridisciplinaire habituelle (TAU) Après 8 semaines possibilité de participer à 4 semaines d'éducation psychologique en groupe.
	Traitement contrôle : Séries d'exercice non pertinents d'amplitudes de mouvements, d'étirements et d'éducation postural. Le protocole standard dans la prise en charge des patients ayant subis une commotion cérébrale a été respectée.		

F = Femmes ; H = Hommes ; SCAT 2 : Sport Concussion Assessment Tool 2

3.3 Analyse qualitative :

Le risque de biais méthodologiques des études cliniques randomisées est évalué grâce à l'échelle PEDro. Plus le score PEDro est élevé moins l'étude présente de biais méthodologiques.

Figure 10 : Tableau récapitulatif de l'analyse de biais méthodologique via l'échelle PEDro :

Article	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Score PEDro (total)
Schneider et al., 2014	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	9/11
Kleffelgaard et al., 2018	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	9/11
Søberg et al., 2021*	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	8/11

* : Score non confirmé par PEDro (Physiotherapy Evidence Database)

Comme le démontre le tableau récapitulatif, aucune des études ne remplissent le critère n°5 et n°6 de l'échelle PEDro. Ces critères s'intéressent aux sujets de l'études ainsi qu'aux thérapeutes et si ces derniers sont dits en « aveugle ». Dans le cas de ces études, les sujets dans les différents groupes randomisés sont donc au courant du traitement qu'ils leur sont attribué et les thérapeutes au courant des traitements qu'ils prodiguent. Ceci peut être un biais majeur étant donné du fait que certains critères de jugements sont basés sur l'auto-évaluations des sujets (RPSQ, DHI, HADS). L'étude de Søberg et al., 2021 n'explique pas la composition des 2 groupes (critère 8) et ne traite statistiquement que certains critères de jugement entre les 2 groupes (critère 10 partiellement).

Cependant on remarque le score PEDro de 2 essais cliniques randomisés sont élevé et traduit d'une faible présence de biais méthodologique permettant une interprétation des résultats peu biaisé méthodologiquement. 1 étude a un score PEDro moyen signifiant un niveau modéré de biais méthodologique.

L'échelle d'analyse qualitative méthodologique PEDro n'est pas adapté concernant les études de cas, séries de cas ou les études post-pré traitement. Pour évaluer ces études 2 échelles sont utilisées, la première la Quality Assessment Tool for Case Series Studies (QATCSS) (Annexe 4) et la seconde est la Quality Assessment Tool for Before-After Studies With No Control Group (QATBASNC) (Annexe 5). Ces échelles proviennent de la National Heart, Lung and Blood Institute (NHLBI).

Voici le tableau récapitulatif :

Figure 11 : Tableau récapitulatif de l'analyse de biais méthodologique via l'échelle QATCSS/QATBASNC

	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Item 12	Score Total
Moore et al., 2016	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	8/12
Kontos et al., 2018	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	6/12
Kleffelgaard et al., 2015	✓	✓	✗	NR	✓	✓	✓	✓	✓				7/9

NR = Non reporté

La qualité méthodologique de l'étude de Kleffelgaard et al., 2015 a été évaluée par le QATCSS. Les études de Moore et al., 2016 et Kontos et al., 2018 ont été évaluées par (QATBASNC)

Les études ont globalement un niveau modéré de biais méthodologique.

Pour l'étude de séries de cas (Kleffelgaard et al., 2015) le critère 3 n'est pas rempli, les cas ont été fait en même temps et non de manière consécutive. Le critère 4 requiert une comparabilité entre les différents sujets, aucune information quantitative des caractéristiques entre les sujets a été effectué, mais cependant un tableau détaillé des caractéristiques des sujets est fourni.

Pour l'étude de Moore et al., 2016 les critères 5, 6, 8 et 12 de la Quality Assessment Tool for Before-After Studies With No Control Group sont non validés. Le critère 5 correspond à la non-justification de la taille de recrutements, de plus l'étude ne se base que sur 14 patients séparés en 2 groupes d'âges (8 et 6) et cet effectif reste faible pour une étude. Le critère 6 permet de s'assurer si le traitement est clairement explicite, décrit et si tous les sujets ont eu le même traitement. Or même si dans cette étude l'intégralité de l'intervention est décrite, les sujets ont eu accès à différents soins en fonctions de leurs besoin impliquant ergothérapeute, kinésithérapeute orthopédique, neuropsychologue pratiquant divers traitements supplémentaires. Le critère 8 est validé si les résultats sont cachés à ceux qui dirige l'étude ou qui pratique le traitement, ce qui n'est pas précisé dans cette étude. Le critère 12 prend en compte si les sujets viennent d'un groupe (hôpital, clinique etc...), si l'analyse statistique prend en compte les données individuelles pour déterminer les effets au niveau du groupe. Pas précisé dans l'étude.

Pour l'étude de Kontos et al., 2018 les critères 5,6,8,9,11 et 12 de la Quality Assessment Tool for Before-After Studies With No Control Group sont non validés. Le critère 5 est non validé car aucune information statistique sur le nombre de sujets est précisée. Le critère 6 est non validé car le traitement n'est pas du tout explicité. Aucun des thérapeutes ou sujets ou prise de résultats est effectué en aveugle. Le critère 9 est non validé car il y a une importante perte de suivis de patients (n= 51 a l'évaluation initiale, 26 lors de l'évaluation finale) ce critère est toléré jusqu'à une baisse de 20% maximum des sujets de l'étude. Le critère 11 est non validé car les mesures des différents critères de jugements ne sont prises qu'une fois (que ce soit l'évaluation initiale ou finale). Le critère 12 n'est pas respecté non plus (groupe militaire et aucunes informations statistiques).

3.4 Analyse quantitative :

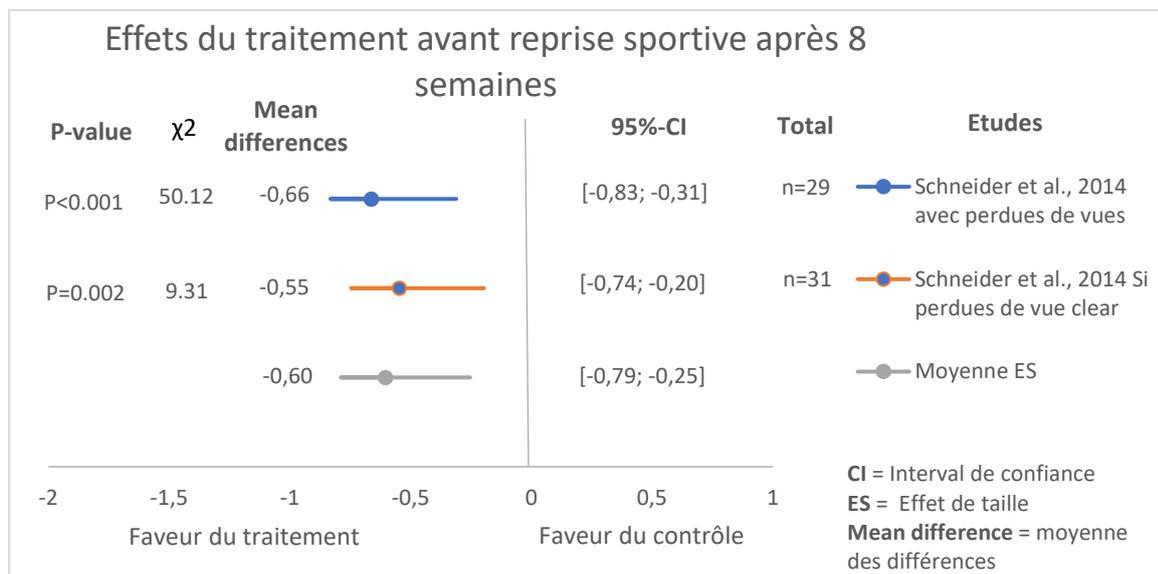
Cette analyse permet de traiter les résultats des études sélectionnées. Les 3 essais cliniques randomisés ne peuvent pas être comparés. 1 essai (Schneider et al., 2014) n'exprime en moyenne que son critère de jugement principal (RTS), les critères de jugements secondaires sont exprimés en médiane et valeur minimale/valeur maximale. Les 2 autres essais cliniques ont fait leurs études sur la même population, la différence entre les 2 sont le critère de jugements principal (DHI vs QOLIBRI), l'expression de la différence des critères de jugements secondaires comparée au groupe contrôle de l'étude de Kleffegaard et al., 2018 par l'étude de Sjøberg et al., 2021 sont exprimés en fonction du score QOLIBRI. L'analyse quantitative de ces essais cliniques randomisés seront donc individuelle et non comparative.

Les études de cas rajouté quant à elle sont analysées comparativement lorsque cela est possible (études plus ou moins comparables, données statistiquement utilisables, critère de jugements en commun). L'analyse statistique des tailles d'effets des études de cas (analyse pre-post traitement) a été effectué par test T apparié (n<30).

L'ensemble des critères abordé dans cette analyse sont des questionnaires donnant un score permettant l'interprétation. Plus les scores sont proches de 0 plus l'interprétation est positive, plus les scores sont élevés plus l'interprétation est négative (0-100 ; Best-Worst). Le score HiMAT fonctionne de manière opposé (0-100 ; Worst-Best), c'est pour cette raison que son analyse quantitative sera volontairement exprimée en négatif pour correspondre à l'expression des autres critères de jugements. Le score de QOLIBRI est aussi exprimé de façon croissante (0-100 ; Worst-Best).

Les résultats sont présentés par des Forest plot (graphique en forêt).

Figure 12 : Forest plot concernant les effets du traitement comparé au groupe contrôle de l'études de Schneider et al., 2014 sur la reprise sportive après 8 semaines.

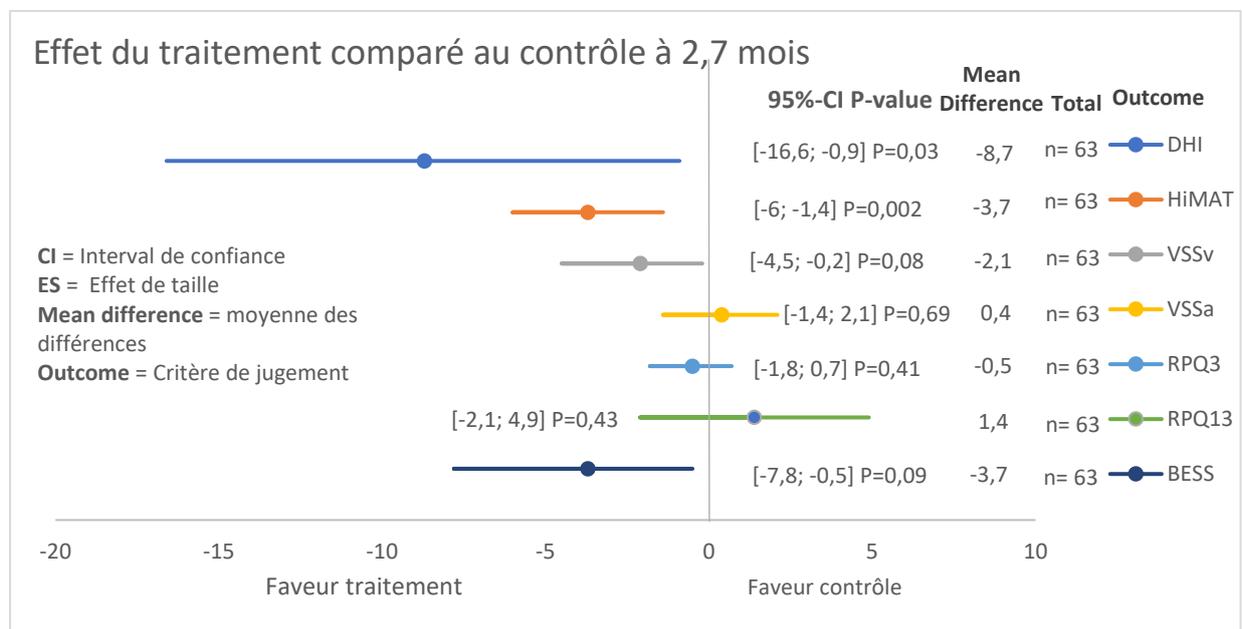


Le critère de jugement principal de l'étude de Schneider et al.,2014 concerne le temps avant l'autorisation médicale (Medical clearance) pour la reprise sportive. Le traitement est comparé à un groupe contrôle et lors de l'évaluation initial les groupes sont similaires (Cf figure 9). Voici présenté ci-dessus l'effet du traitement (Rééducation cervico-spinal + vestibulaire) comparativement au groupe contrôle. Parmi le groupe contrôle 1 sujet sur les 14 sujets restant (2 sujets perdus de vues) sont autorisé à reprendre l'activité sportive après 8 semaines de rééducation. Le groupe expérimental, 11 sujets parmi les 15 (0 perdues de vues) sont autorisé à reprendre l'activité sportive. La taille d'effet du traitement comparé au contrôle est de -0.66 95%IC [-0.83 ; -0.31] en faveur du traitement expérimental. Cela signifie qu'une plus grande proportion d'individu dans le groupe expérimental a obtenu l'autorisation de reprise d'activité sportive durant les 8 semaines comparé au groupe contrôle (73% clear / 7.1% clear). L'odds ratio de cet évènement est de 35.75 [3.46 ; 368.82] soit 35.75 fois plus cotée que l'évènement d'autorisation de reprise sportive intervient pour le groupe expérimental que le groupe contrôle.

Malgré les 2 perdues de vues du groupe contrôle et supposant qu'ils étaient autorisés à reprendre le sport (3/16 sujets clear) l'effet de taille reste en faveur du traitement expérimental -0.55 [-0.75 ; -0.2].

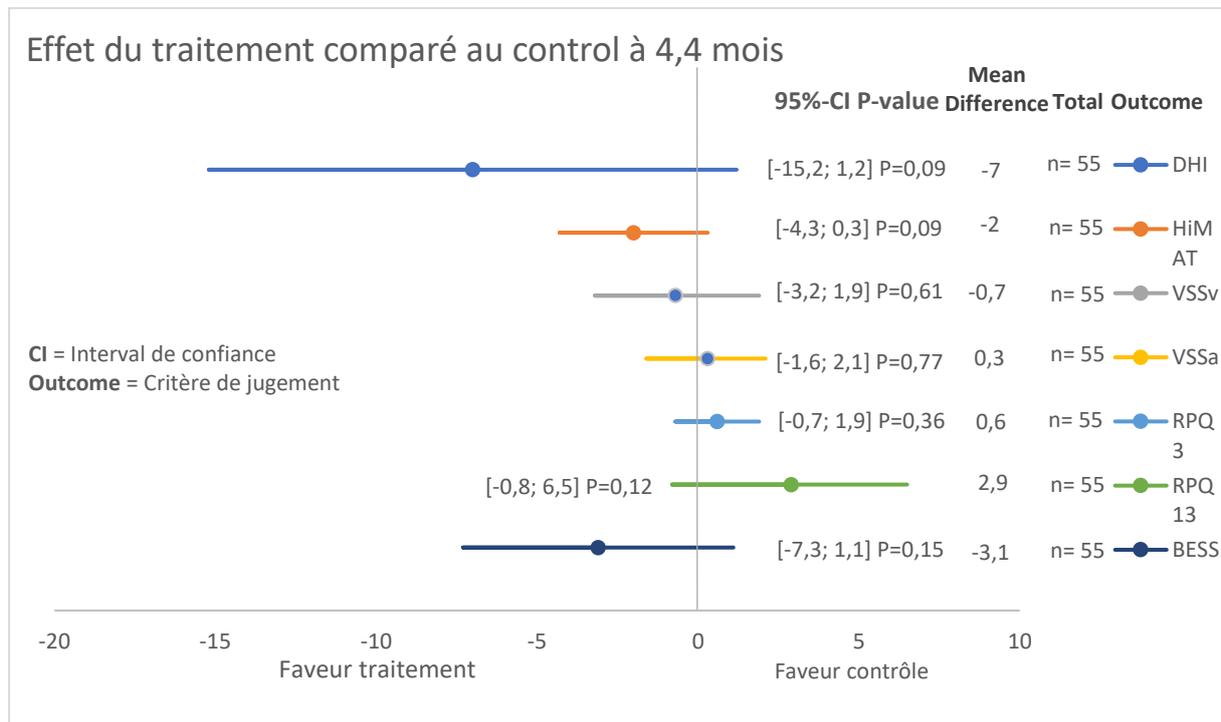
La moyenne de l'effet de taille est par conséquent en faveur du traitement.

Figure 13 : Forest plot concernant l'effet du traitement comparé au contrôle à 2,7 mois après évaluation initial



Légende : DHI = Dizziness Handicap Inventory ; HiMAT = High-level Mobility Assessment Tool for traumatic brain injury ; VSS = Vertigo Symptome Scale ; VSSv = vertigo subscale ; VSSa = anxiety subscale ; RPQ = Rivermead Post-concussion Symptoms Questionnaire ; RPQ-3 = Physiological subscale ; RPQ-13 = Psychological subscale ; BESS = Balance Error Scoring System

Figure 13bis : Forest plot concernant l'effet du traitement comparé au contrôle à 4.4 mois après évaluation initial

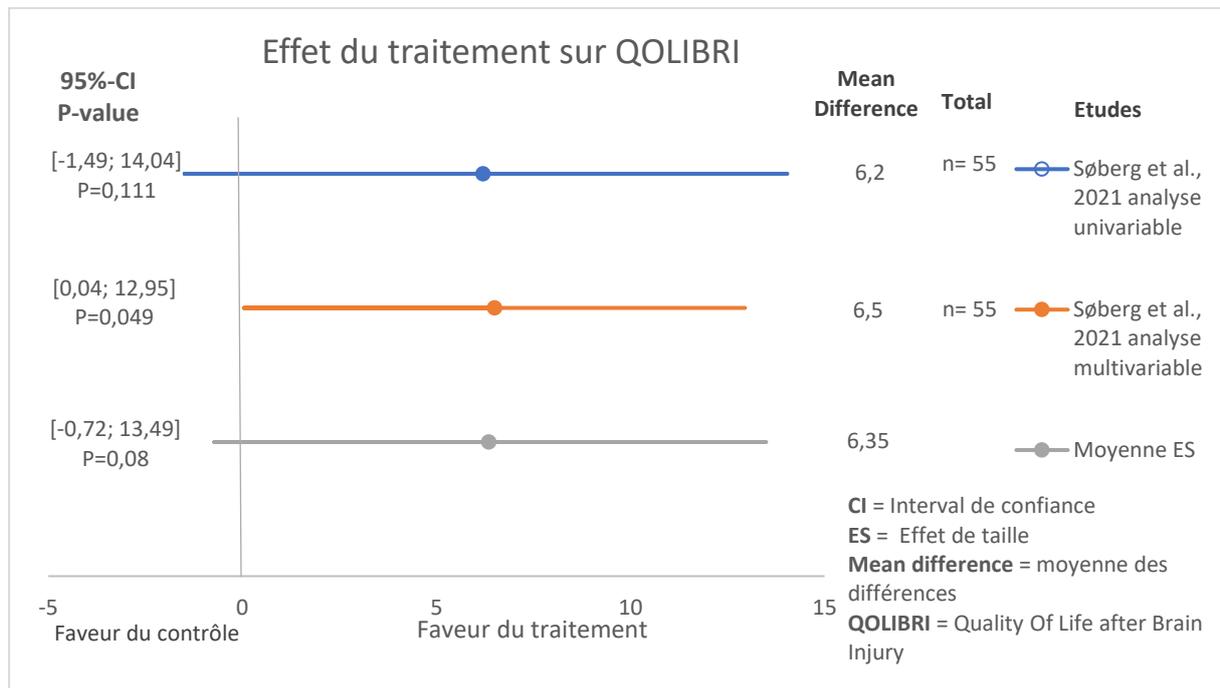


A propos de l'étude de Kleffelgaard et al., 2018 le critère de jugement principal est le score DHI (Dizziness Handicap Inventory). Les 2 groupes n'ont aucune différences significatives (Cf Figure 9). Les critères secondaires de l'études s'intéressent à différents facteurs tel que la mobilité (HiMAT), les sensations de vertiges (VSSv, VSSa), les symptômes post-commotion cérébral (RPQ), l'équilibre (BESS). L'étude s'intéresse à l'effet du traitement sur l'ensemble de ces critères à 2 intervalles de temps différents définit à 2.7 mois et 4.4 mois après l'évaluation initial.

Voici présenté ci-dessus l'effet de taille entre le groupe expérimental et le groupe contrôle aux 2 temps d'évaluation (Figure 13 et 13bis).

On peut remarquer qu'à 2.7 mois après l'évaluation initial 4 critères de jugements sont en faveur du traitement expérimental (DHI, HiMAT, VSSv, BESS) comparé au groupe contrôle. Les IC sont cependant étendus et proches du 0 (indiquant un potentiel non-effet). A 4.4 mois après l'évaluation initial aucun critère de jugement est en faveur du traitement expérimental comparé au contrôle. De plus on remarque une augmentation de l'effet de taille de la totalité des critères de jugements en faveur du contrôle.

Figure 14 : Forest plot concernant l'effet du traitement comparé au contrôle sur le score QOLIBRI

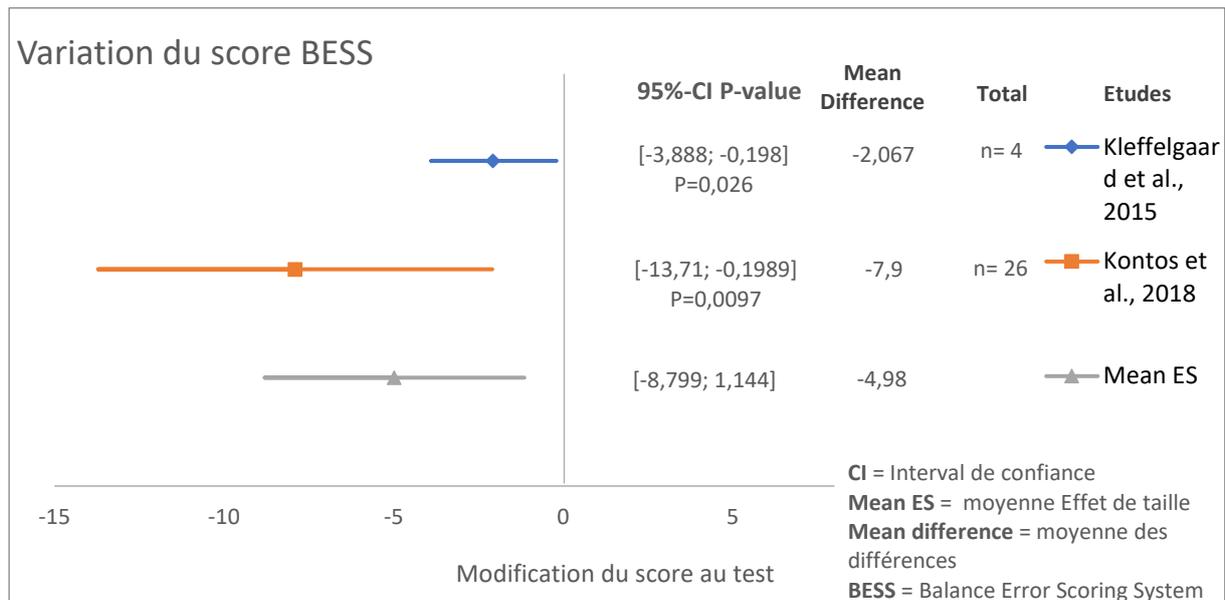


L'étude de Sørensen et al., 2021 s'intéresse à l'effet du traitement par rapport au groupe contrôle sur la qualité de la vie après un traumatisme crânien via un questionnaire (QOLIBRI). C'est l'unique critère de jugements qui a été analysé comparativement au groupe contrôle. Les autres critères de jugements ont été traités en pré-post traitement de l'ensemble des 2 groupes. Présenté ci-dessus le forest plot de l'effet du traitement sur le score du QOLIBRI comparé au contrôle. L'expression de leurs résultats a été fait avec 2 modèles, une expression stricte et indépendante du critère (Analyse univariable), l'autre expression (Analyse multivariable) est ajustée par la valeur initial de HADS (Hospital Anxiety and Depression Scale). Le résultat de l'effet de taille de l'analyse multivariable entre traitement et contrôle est légèrement en faveur du traitement (p-value =0.049 et IC [0.004 ; 12.95]). Cependant l'IC est très large et proche de 0 (étant pas de différence).

Le résultat de l'analyse univariable montre qu'il n'y a pas de différence statistique entre le traitement et le contrôle (p-value>0.05 et IC le plus bas est négatif -1.49).

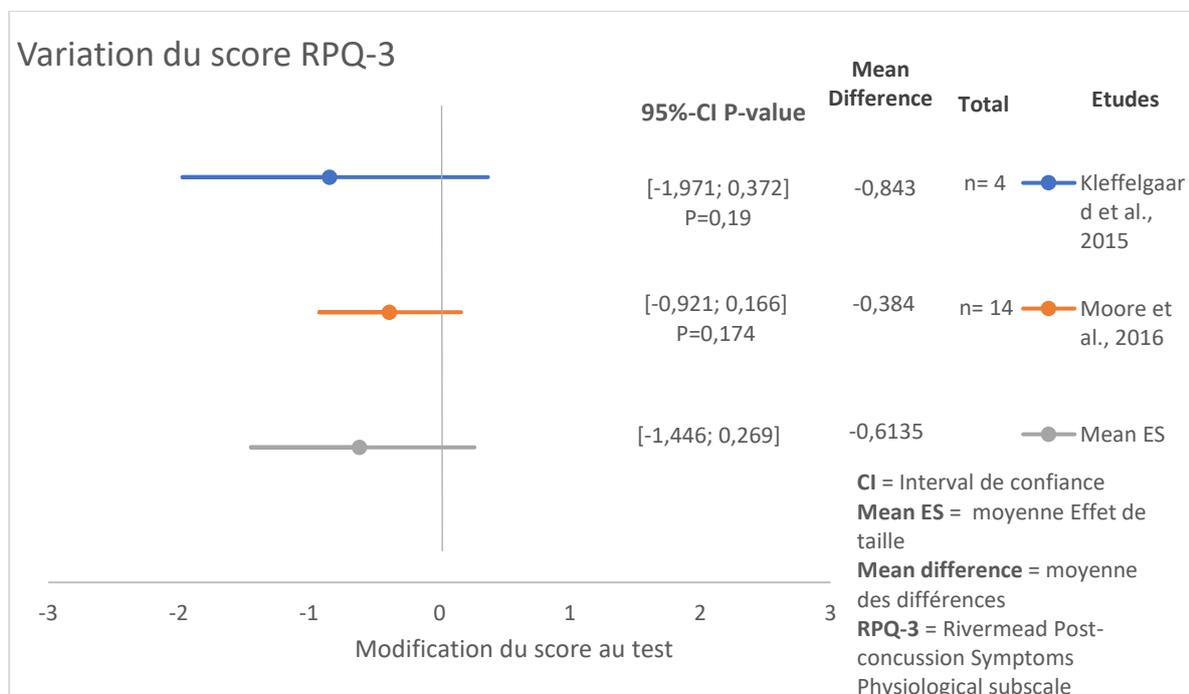
Les résultats qui sont présenté par la suite représente l'effet de taille des études de cas calculé par un T test. Les résultats pré-post traitement sont exprimés dans les forest plot.

Figure 15 : Forest plot concernant la variation du score BESS après rééducation vestibulaire



Les résultats comparatifs des 2 études semblent suggérer une variation positive (réduction du score au test BESS) induisant une amélioration de l'équilibre. Effectivement les P-value sont inférieurs à la limite critique (95%) $p < 0.05$. Cependant les IC (95%) sont larges et proche de 0 induisant un potentiel non-effet du traitement.

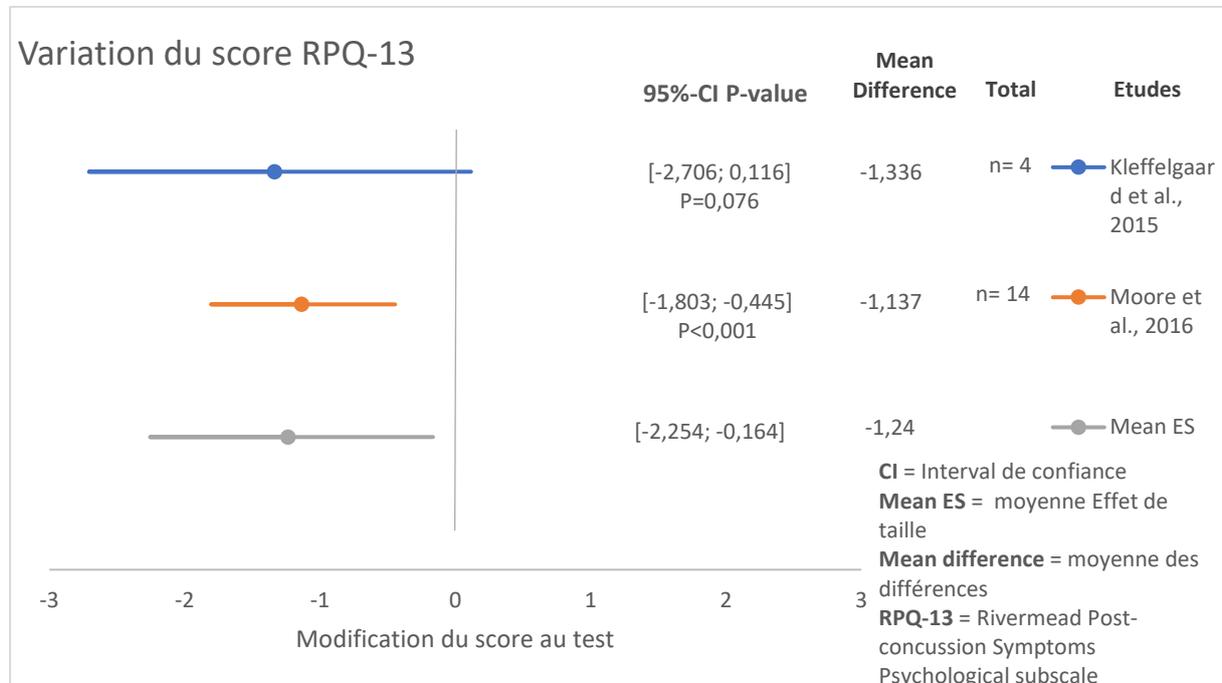
Figure 16 : Forest plot concernant la variation du score RPQ-3 après rééducation vestibulaire



Les résultats comparatifs des 2 études ne semblent pas suggérer une variation positive (réduction du score au questionnaire RPQ-3) induisant un non-effet du traitement sur la sous-échelle physique du questionnaire. Effectivement les P-value sont supérieur à la limite

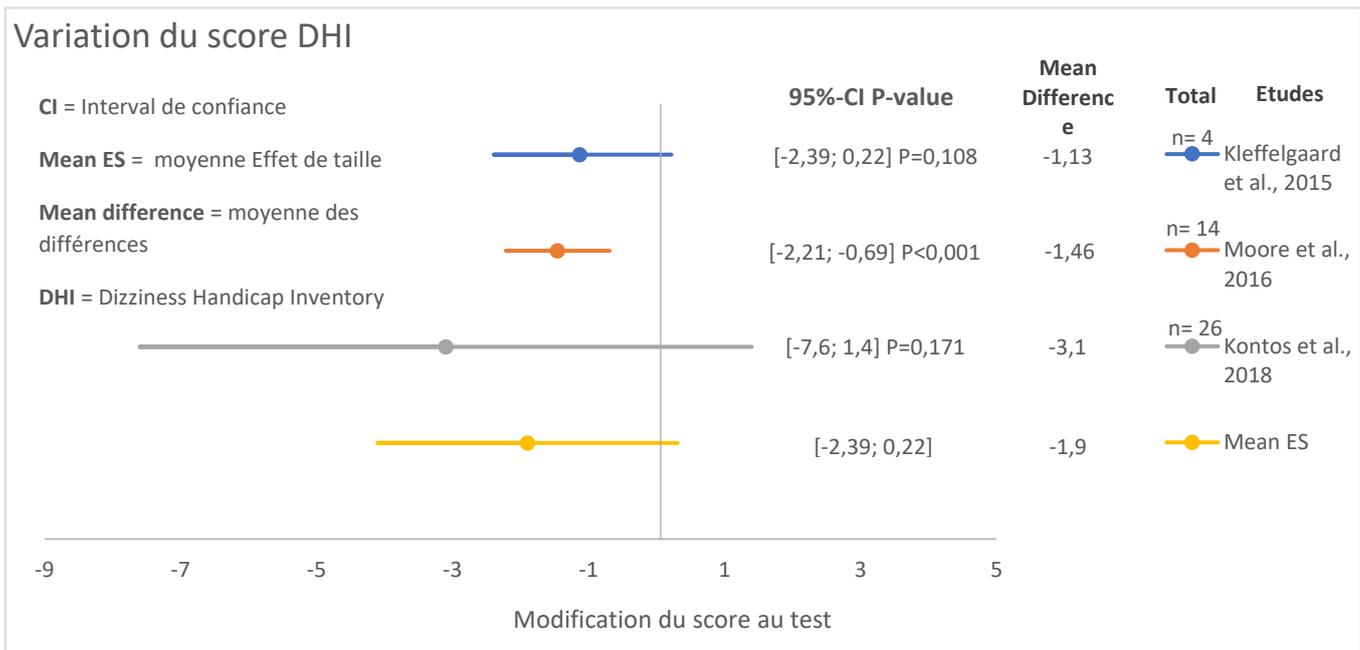
critique (95%) $p\text{-value} > 0.05$. Les IC au plus bas sont positif signifiant un potentiel non-effet après traitement sur ce critère.

Figure 17 : Forest plot concernant la variation du score RPQ-13 après rééducation vestibulaire



Les résultats comparatifs des 2 études semblent suggérer une variation positive (réduction du score au questionnaire RPQ-13) induisant un effet positif du traitement sur la sous-échelle psychologique du questionnaire. Effectivement les P-value sont inférieur à la limite critique (95%) $p\text{-value} < 0.05$. Les IC sont très larges et l'IC de la moyenne des tailles d'effet est proche de 0 (signifiant aucune amélioration).

Figure 18 : Forest plot concernant la variation du score DHI après rééducation vestibulaire



Les résultats comparatifs des 3 études ne semblent pas suggérer une variation positive (réduction du score au questionnaire DHI) induisant un non-effet du traitement sur le score du questionnaire de vertiges. Effectivement les P-value sont supérieur à la limite critique (95%) $p\text{-value} > 0.05$. Les IC de la moyenne des tailles d'effet au plus bas sont positif signifiant un potentiel non-effet après traitement sur ce critère. Cependant L'étude de Moore et al., 2016 montre un effet de taille en faveur du traitement (réduction du score du questionnaire DHI). De plus l'IC [-2.21 ; -0.69] de cette étude est étroit avec une $P\text{-value} < 0.001$.

L'ensemble de ces résultats sont sujets à interprétations, discussion et de corrélation. Cela sera abordé dans la partie suivante.

4 Discussion

4.1 Analyse des principaux résultats

L'objectif de cette revue a été de savoir les effets de la rééducation vestibulaire et d'autres traitements sur différents critères pertinents à la suite d'une commotion cérébrale liées à la pratique sportive. La littérature scientifique est peu étayée sur ce sujet. L'intérêt de la rééducation vestibulaire est important dans certains contextes pathologiques (neuropathologie). Cependant dans le contexte étudié ici (Post commotion cérébrale/ Traumatisme crânien) les effets et l'efficacité de la rééducation vestibulaire n'est que très

peu étudié. Malgré cela, comme démontré dans l'introduction, la rééducation vestibulaire semble être une piste solide pour la prise en charge de ce genre de blessure. Les études sélectionnées se sont justement intéressées aux effets ou à l'efficacité de la rééducation vestibulaire.

Nous allons maintenant aborder différents sujets pour discuter des résultats de cette revue. Dans une première partie nous répondrons à l'efficacité de la rééducation vestibulaire, dans une seconde nous répondrons aux effets de la rééducation vestibulaires. Chacune des parties abordera les difficultés rencontrées, les interprétations possibles ou non des résultats.

Par la suite nous discuterons de l'applicabilité des résultats en pratique clinique

Nous finirons par une auto-critique de la revue ainsi que les biais potentiels de la revue dans le but de mettre en évidence les erreurs et les axes améliorations envisageables.

4.1.1 Efficacité de la rééducation vestibulaire sur la récupération post-commotion cérébrale

Pour discuter de cette question nous allons nous appuyer sur les essais cliniques randomisés sélectionnés. Chaque étude sera discutée indépendamment, puis lorsque cela est pertinent ils seront discutés comme un ensemble présentant leurs différences. Rappelons que les essais cliniques randomisés constituent un niveau de preuve fort (s'il y a absence de biais) et que les études de cas constituent un niveau de preuve faible.

Tout d'abord parlons du contexte de l'étude de Schneider et al., 2014, elle s'intéresse à l'effet de la rééducation vestibulaire associé à une rééducation cervico-spinal comparé à un groupe contrôle d'exercices jugés non pertinents. L'étude regarde le nombre de patients dans chaque groupe autorisé à reprendre l'activité sportive. Le score PEDro étant élevé (9/11) révèle peu de biais méthodologique dans l'étude. Ça ne rend pas l'étude parfaite dans notre thématique.

Premièrement la présence d'un biais majeur dans l'interprétation des résultats obtenus se situe dans l'association de 2 types de traitements différents. Cela devient impossible de savoir si l'effet provient de la rééducation vestibulaire ou de la rééducation cervico-spinal. De plus les praticiens effectuant le traitement avaient le libre-arbitre d'effectuer soit la rééducation cervico-spinal, soit la rééducation vestibulaire, soit la rééducation contrôle. Aucune donnée ne permet de savoir quel est la proportion de ces 3 rééducations appliquées au groupe expérimental.

Cependant les critères de sélection de l'étude répondent totalement à notre problématique car le traitement a été exploré chez des sujets ayant eu une commotion cérébrale liée à la pratique sportive. De plus, aucune différence significative ne différencie les 2 groupes formés, cependant la moyenne d'âge des 2 groupes est de 15 ans. Les résultats auraient pu

être différent avec une moyenne d'âge plus élevée et empêchent d'extrapoler les résultats en une généralité.

L'étude s'intéresse aussi à différents critères symptomatiques après la commotion cérébrale tel que : SCAT 2 ; DHI ; BESS ; FGA (Functional Gait Assessment) ; ABC (Activity-specifics Balance Confidence scale) etc... Malheureusement ces critères de jugements, fort pertinents, sont exprimé par leurs médianes (score + fenêtre min-max des valeurs) rendant l'extraction de ces données impossibles, ne permettant pas de calculer la taille d'effet du traitement. La seule donnée extractible est donc l'apparition d'un événement qui est l'autorisation ou non de la reprise d'activité sportive. L'autorisation est faite par un médecin du sport aveugle de l'étude, cela renforce la pertinence et la qualité du résultat qui en ressort. Néanmoins ni les praticiens ni les sujets n'étaient en aveugle et on peut aisément supposer que certains sujets ont déduit faire partie du groupe expérimental ou optimal biaisant potentiellement les résultats.

11 patients sur 15 ont repris l'activité sportives après 8 semaines avec la rééducation cervico-spinal et vestibulaire contre 3 patients sur 16 pour le traitement contrôle (Intention de traité compris)

L'étude suggère et prouve que leurs traitements permettent une reprise d'activité sportive plus rapide que le traitement contrôle (jugé non pertinents) sur une période de 8 semaines. Cela ne permet cependant pas de dire que la rééducation vestibulaire a un effet sur la reprise précoce d'activité sportive, aussi associé au programme RTP/RTS (Return To Play / Return To Sport). Néanmoins il semble que la rééducation vestibulaire joue un rôle dans la reprise d'activité sportive précoce chez les jeunes.

La Seconde étude s'intéresse quant à elle aux effets de la rééducation vestibulaire sur leurs vertiges et leurs équilibres comparé à un traitement contrôle dit « habituelle » (TAU). Le critère principal étudié est le score du questionnaire DHI qui est un questionnaire à remplir sois même rapportant les incapacités liées aux vertiges. Le score PEDro étant élevée (9/11) révèle peu de biais méthodologique dans l'étude.

Premièrement la population n'a pas eu de traumatismes crâniens uniquement à la suite de la pratique sportive (la majorité étant via des chutes), cela sépare donc l'étude du contexte évoqué dans notre revue. Il n'y a pas de différence entre les 2 groupes à l'évaluation initiale ni dans les caractéristiques des sujets. Cependant l'étude à fermer le recrutement de nouveaux sujet (n=65) pour cause de temps et la population de l'étude était majoritairement composé de femmes (69%). De ce fait l'extrapolation des résultats ne pourra vraiment refléter les statistiques épidémiologiques dans la réalité. En effet l'incidence de traumatisme crânien est plus élevée chez les hommes que les femmes⁹⁶.

Similairement a la première étude abordée, la rééducation vestibulaire est associée au traitement contrôle ici. Le traitement du groupe contrôle étant une prise en charge pluridisciplinaires de l'hôpital où les sujets sont recrutés. Le biais ici est que ce traitement contrôle était mis à disposition à la libre demande des patients avec aucun contrôle du

nombre de séance des intervenants. Cela signifie que ce qui est considéré comme une constante (baseline) ne l'est pas même au sein du groupe contrôle, encore moins comparé au groupe expérimental. De plus 4 semaines après le début du traitement une éducation psychologique était disponible pour tous les sujets, renforçant la disparité de traitement entre les groupes et au sein d'un même groupe.

Les résultats exprimés sont exprimés par leurs moyennes et leurs écarts-type, la taille d'effet des différents critères de jugements est mesurée (95%IC) entre le groupe contrôle et expérimental. Les critères de jugement sont évalués à 3 moments, soit à T0 = évaluation initial (3.5 [1.4 ; 5.6] après blessure), T1 = 2.7 mois après T0 et T2 = 4.4 mois après T0.

On peut d'ores et déjà signalé la grande disparité de temps après le traumatisme crânien, les groupes ont néanmoins aucune différence sur le temps avant le traumatisme. Cependant si on compare ce score à celui de la 1^{ère} étude on peut s'interroger sur la différence entre ces 2 études. Cette information n'étant pas fournis par la 1^{ère} étude, cela les rend impossibles à comparer sur leur efficacité littéral (impossibilité quantitative) tant le facteur « temps » après commotion/traumatisme est un facteur important sur la récupération.

Les résultats de l'étude démontrent que le score DHI, HiMAT, VSSv, BESS à T1 sont réduits (donc amélioré) par la rééducation vestibulaire. La rééducation aurait un effet positif réduisant l'incapacité des vertiges, les symptômes des vertiges, augmente l'équilibre et les facultés de la marche. Cependant lors de l'évaluation à T2 tous ces différences en faveur de la rééducation vestibulaire ont disparu. Ces différences peuvent provenir des différents biais évoqués, que la rééducation a une fenêtre d'action à court et moyen termes et non à long termes. Il est difficile de pouvoir conjecturer ces résultats à une population plus générale.

La rééducation vestibulaire est plus efficace au début et permet une amélioration plus rapide des différents symptômes rapportés après un traumatisme crânien comparé à un contrôle.

Le dernier essai clinique randomisé est extrêmement similaire au 2^{ème} article vu juste auparavant, la différence est qu'un critère de jugement supplémentaire qui est la qualité de vie après traumatisme crânien via un questionnaire QOLIBRI (PROM Quality of Life after Brain Injury). Une autre différence est l'expression de certains critères de jugements comparativement entre les 2 groupes avec un analyse multivariable (donc la variation en fonction d'un critère de jugement) avec différents critères de jugements comme variable de base. De plus l'étude analyse l'ensemble des sujets en comparant à T0 et T2 et non pas en comparant les 2 groupes (contrôle vs expérimental).

L'unique donnée que l'on peut extraire est donc la différence entre les 2 groupe sur le score QOLIBRI traduisant le niveau de qualité de vie après un traumatisme crânien. Les résultats montrent que l'ensemble des sujets ont une amélioration du score de qualité de vie (QOLIBRI), cependant l'analyse différentielle univariable des 2 groupes prouvent que l'amélioration du score n'est pas significativement en faveur de la rééducation vestibulaire (6.28 [-1.49 ;14.04] p-value>0.05). Cependant l'analyse multivariable prouvent que

l'amélioration du score est en faveur de la rééducation vestibulaire (6.50 [0.04 ;12.95] p-value<0.05). Cependant cette preuve est très peu interprétable car dépendant de la variation des autres critères et reste très légèrement en faveur de la rééducation vestibulaire dans l'intervalle de confiance minimal.

Ces 3 essais cliniques randomisés ont tous les 3 le même objectif mais via des critères différents. Il est malheureusement impossible de pouvoir les comparer, impossible de pouvoir en sortir une information générale. La rééducation vestibulaire semble être plus efficace que les traitements contrôlent.

Une tendance semble tout de même se dégager, une amélioration d'une liste de critères de jugements dans une fenêtre de temps induisant une réduction de certains symptômes chez les sujets. La rééducation vestibulaire semble accélérer le retour à l'activité sportive via différents critères tels que les vertiges, l'équilibre, la marche.

C'est pour cette raison que nous allons poursuivre cette discussion avec la 2^{ème} partie où nous allons discuter des études de cas et de leurs résultats pour confirmer ou infirmer si possible les potentiels effets de la rééducation vestibulaire.

4.1.2 Effets de la rééducation vestibulaires sur la récupération post-commotion cérébrale

Dans cette partie nous allons discuter des études de cas rajouté. Cela permettra peut-être de confirmer ou infirmer les tendances perçues dans les essais cliniques randomisés. Nous rappelons que le niveau de preuve des études de cas est faible.

Les forest plot compare les effets des études pré-post traitement sur certains critères de jugement (BESS ; DHI ; RPQ-3 ; RPQ-13).

L'analyse de ses résultats suggère que la rééducation vestibulaire réduit le score de BESS et RPQ-13. Soit l'amélioration de l'équilibre et l'aspect psychologique des symptômes post-commotion cérébrale.

Cependant l'on remarque de grandes variations dans les intervalles de confiance, voir même entre études sur un critère donné. Les raisons expliquant cela sont dus aux importantes différences entre les études (Cf figure 8). En effet la taille des populations sont énormément différentes. Les traitements appliqués sont aussi différents, l'étude de Moore et al., 2016 associe la rééducation vestibulaire avec des traitements disponible si nécessité (Thérapie cognitive comportemental, psychologue, ergothérapeute et un kinésithérapeute orthopédique). Même si l'étude a pu quantifier le nombre de patients qui ont reçu tel ou tel traitements supplémentaire, l'effet de taille pré-post traitement de la rééducation vestibulaire devient moins discernable. De plus la rééducation vestibulaire est associée à un programme d'entraînement aérobique. Cependant l'étude c'est intéressé à savoir si l'âge avait un effet sur la reprise d'activité sportive ou reprise du travail avec 2 groupes de tranche d'âge différent (supposant que le groupe dit jeune aurait une reprise plus précoce). Aucune

différence significative s'est manifestée sur la reprise des activités. L'étude suggère que la rééducation vestibulaire associée à un entraînement d'exercices aérobiques est efficace qu'importe l'âge des adultes. Il serait intéressant de s'intéresser à si cela est le cas chez les enfants.

L'étude de Kontos et al., 2018 s'adresse à une population ayant des symptômes chroniques post-traumatismes crâniens (1-3 ans). La population est strictement différente et dans cette étude aussi la rééducation vestibulaire est associée à d'autres rééducations non précisées via une équipe pluridisciplinaire (rééducation comportementale, vestibulaire, à l'effort, de la vision). De plus lors de cette étude 49% de la population inclus au début de l'étude sont perdus de vue. Cette abondante perte de vues peut énormément biaiser les résultats.

Enfin l'étude de séries de cas, Kleffelgaard et al., 2015, s'intéresse uniquement à la rééducation vestibulaire, les exercices sont extrêmement détaillés. Néanmoins cette étude de séries de cas n'a que très peu de sujets (4). De plus les sujets semblent différents et aucune quantification statistique des caractéristiques des sujets sont présents. Les différences sont donc trop importantes pour interpréter quelconque résultat.

Il faut rajouter pour dans le contexte de ces 3 études, qui regarde les effets pré et post traitement, ne sont comparés à aucun contrôle. Il est impossible de savoir, en l'absence de contrôle comparateur si le traitement (quelconque qu'il soit) ait eu un effet. Effectivement le temps passé entre l'évaluation initiale et les différentes évaluations peuvent expliquer la différence dans les différents scores.

L'analyse de l'ensemble de ces résultats permet d'affirmer que la rééducation vestibulaire n'est pas délétère dans la récupération à la suite d'une commotion cérébrale/traumatisme crânien. Cependant il est impossible d'assurer que la rééducation vestibulaire est plus efficace qu'un autre traitement.

L'ensemble de la revue de littérature ne possède pas assez de preuves statistiques, ni littéraires pouvant statuer sur un effet certain de la rééducation vestibulaire.

Cependant la rééducation vestibulaire semble émettre une tendance, réduction plus rapide des symptômes post-commotion cérébrale qu'un traitement contrôle via la réduction des vertiges, amélioration de l'équilibre, de la marche et une plus grande assurance psychologique.

4.2 Applicabilité des résultats en pratique clinique

Compte tenu des résultats et de la discussion l'applicabilité de la rééducation vestibulaire dans le contexte d'une commotion cérébrale liée à la pratique sportive semble compliqué à être mis en œuvre par les praticiens. Même si la rééducation vestibulaire et les traitements associés dans les études ne sont pas délétères il n'en reste pas moins que l'efficacité de la rééducation vestibulaire reste à être prouvée dans le contexte des commotions cérébrales. Les effets de la rééducation doivent aussi être explorés dans de futures études dans le but de

pouvoir certifier sur quels symptômes post-commotionnelle la rééducation vestibulaire répond le plus favorablement.

La rééducation vestibulaire fait appel à des professionnels de santé en connaissance et maîtrise du sujet. La rééducation vestibulaire étant une spécialité du métier de Masso-Kinésithérapie, il n'est pas toujours possible pour le patient d'avoir accès à cette prise en charge thérapeutique.

Tout de même, la rééducation vestibulaire inscrite dans une prise en charge pluridisciplinaire en fonction de la sévérité et des problématiques du patient est recommandée. Cette prise en charge demande beaucoup de matériel et de structure pour réunir une équipe de différents professionnels de santé paramédicale et médicale.

Au vu de tout ça il est pertinent de se demander si une telle mise en œuvre est nécessaire par rapport aux résultats observés dans les études (résultats potentiellement biaisés).

La règle la plus importante de la prise en charge est le respect de la rééducation sans apparition de symptôme. Si les symptômes réapparaissent ou apparaissent lors de la rééducation il faut alors arrêter et diminuer la charge rééducative.

La source d'application la plus fiable concernant la rééducation à la suite d'une commotion liée à la pratique sportive se réfère à la 5^{ème} conférence internationale sur les commotions cérébrales liées à la pratique sportive [78].

De plus amples études et notamment d'essais cliniques randomisés sont nécessaires pour comprendre mieux les effets et l'intérêt ou non de la rééducation vestibulaire pour les patients ayant subi une commotion cérébrale liée à la pratique sportive.

4.3 Qualité des preuves et biais potentiels de la revue

La qualité des preuves des articles choisis sont très hétérogènes. 3 études sont des essais cliniques randomisés, 3 autres sont des études observationnelles d'études de cas sans contrôle.

Les essais cliniques randomisés traduisent un niveau élevé de preuve, cependant comme relevé dans la discussion de nombreux biais sont présents en regard du contexte posé. Malgré cela le niveau de biais méthodologique est faible parmi ces études cliniques randomisées.

De ce fait le niveau de qualité de preuve des essais cliniques randomisés passe d'élevé à intermédiaire.

Les études de cas traduisent un niveau faible de preuve scientifique. De plus ces études présentent un niveau modéré de biais méthodologiques sans compter les biais ou incohérences discutés lors de la discussion.

Nous tenons à rappeler que malgré les biais ou incohérence attribués aux études sélectionnés ne doit pas être perçu comme des travaux mal effectués. Ces études ont dû faire faces à bon nombre de problématiques lors de l'élaboration de leurs études. Il en va de même pour cette revue de littérature, qui reste certes un exercice d'étudiant, mais qui s'est retrouvé confronté à beaucoup de problématique tout au long de l'élaboration de ce travail.

La littérature étant peu fournis sur le sujet, il fut donc compliqué de pouvoir trouver des articles s'inscrivant dans la thématique posée.

La revue de littérature possède un haut risque de biais, cela peut être justifié par un manque d'expérience dans l'analyse et l'extraction des données des différentes études, manque de connaissance dans le sujet, n'ayant que des notions globales de la rééducation vestibulaire enseignée à l'EFMK de Marseille.

Malgré le fait que mon hypothèse de départ n'obtient pas de réponse, que ce soit positive ou négative n'est pas une finalité en soit. Le principal réside dans l'expérience emmagasiné, la connaissance et la méthode apportée par ce travail.

Ce travail a permis de m'intéresser à un domaine de la kinésithérapie que je n'avais pas encore rencontré qui sont la rééducation dans le domaine sportif et la rééducation vestibulaire. Mon intérêt pour ce domaine et cette spécialité rééducatrice a grandis au fur et à mesure de la rédaction de cette revue de littérature.

5 Conclusion

Nous allons conclure cette étude en répondant à l'intérêt que l'on a exploré. Le but était de savoir quels sont les effets de la rééducation vestibulaire sur la récupération chez un sujet ayant subi une commotion cérébrale liée à la pratique sportive.

La seule conclusion que l'on peut en tirer est qu'à la suite de l'analyse des études sélectionnés la rééducation vestibulaire seule ou associé à d'autres traitements ne semblent pas délétère.

En effet, les différentes conditions dans lesquelles la rééducation vestibulaire a été étudiée semblent prouver qu'elle n'aggrave pas les symptômes post-commotion.

L'analyse des résultats laisse suggérer un potentiel effet positif de la rééducation vestibulaire dans un contexte de traumatisme crânien via l'amélioration de différents symptômes. Malheureusement, le peu d'articles ayant étudié le sujet et les nombreux biais ne permet pas d'extrapoler de façon sur ces tendances.

Pour confirmer ces tendances il faudrait continuer à investiguer et produire du contenu scientifique pour connaître d'avantages les effets de la rééducation vestibulaire.

L'implication pour la pratique clinique est importante. L'attrait pour les sports à contacts fort ne cesse d'augmenter, la probabilité d'apparition de ce type de blessures ne cesse

d'augmenter pareillement. Il est donc important de signaler l'importance d'être au courant des dernières thérapies les plus efficaces permettant une prise en charge optimale des patients.

L'implication pour la recherche y est importante étant donné que dans ce contexte de commotion cérébrale ou de traumatisme crânien peu d'informations scientifiques sont présent, aucune méta-analyse sur le sujet publié. Cela permettrait d'avancer de nouvelles guidelines pour tenir au courant les professionnels de santé sur les interventions pertinentes à appliquer.

Ce sont pour ces raisons que des études sont en cours d'écriture et bientôt en cours de parution par exemple l'article de Pierre Langevin (parution prévue pour fin 2021) qui a pour objectif de s'intéresser à la rééducation cervico-vestibulaire chez les adultes ayant subis un traumatismes crânien modéré. Le protocole de cette étude a été publié⁹⁷.

Bibliographie :

¹ *A critical review of chronic traumatic encephalopathy*, L. Grant Iverson, Andrew J. Gardner, Paul McCrory, Ross Zafonte, Rudy J. Castellani, *Neuroscience and Behavioral Reviews*, Elsevier

² Lehman, E. J., Hein, M. J., Baron, S. L., & Gersic, C. M. (2012). *Neurodegenerative causes of death among retired National Football League players*. *Neurology*, 79(19), 1970–1974.

³ [Football américain : le suicide d'utilité publique de Dave Duerson](#), Le Monde, 24 février 2011

⁴ [Duerson's Brain Trauma Diagnosed](#), The New York Times, 2 mai 2011

⁵ Pourquoi la gestion des commotions cérébrales dans le football pose question, Le Monde, 28 mars 2019

⁶ Stein, TD; Alvarez, VE; McKee, AC (2014). "[Chronic traumatic encephalopathy: a spectrum of neuropathological changes following repetitive brain trauma in athletes and military personnel](#)". *Alzheimer's Research & Therapy*. 6 (1):

4. [doi:10.1186/alzrt234](https://doi.org/10.1186/alzrt234). [PMC 3979082](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3979082/). [PMID 24423082](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24423082/).

⁷ Langlois, J. A., Rutland-Brown, W., & Wald, M. M. (2006). *The Epidemiology and Impact of Traumatic Brain Injury*. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 21(5), 375–378. doi:10.1097/00001199-200609000-00001

⁸ McCrea, M., Hammeke, T., Olsen, G., Leo, P., & Guskiewicz, K. (2004). *Unreported Concussion in High School Football Players*. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 14(1), 13–17. doi:10.1097/00042752-200401000-00003

⁹ McCrory, P., Meeuwisse, W. H., Aubry, M., Cantu, R. C., Dvořák, J., Echemendia, R. J., ... Turner, M. (2013). *Consensus Statement on Concussion in Sport—The 4th International Conference on Concussion in Sport Held in Zurich, November 2012*. *PM&R*, 5(4), 255–279. doi:10.1016/j.pmrj.2013.02.012

¹⁰ Schneider KJ, Meeuwisse WH, Nettel-Aguirre A, Barlow K, Boyd L, Kang J, Emery CA. Cervicovestibular rehabilitation in sport-related concussion: a randomised controlled trial. *Br J Sports Med*. 2014 Sep;48(17):1294-8. doi: 10.1136/bjsports-2013-093267. Epub 2014 May 22. PMID: 24855132.

¹¹ Leddy JJ, Baker JG, Willer B. Active Rehabilitation of Concussion and Post-concussion Syndrome. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2016 May;27(2):437-54. doi: 10.1016/j.pmr.2015.12.003. PMID: 27154855.

¹² Khan S, Chang R. Anatomy of the vestibular system: a review. *NeuroRehabilitation*. 2013;32(3):437-43. doi: 10.3233/NRE-130866. PMID: 23648598.

-
- ¹³ Kingma H, van de Berg R. Anatomy, physiology, and physics of the peripheral vestibular system. *Handb Clin Neurol*. 2016;137:1-16. doi: 10.1016/B978-0-444-63437-5.00001-7. PMID: 27638059.
- ¹⁴ McCrory, P., Meeuwisse, W., Dvorak, J., Aubry, M., Bailes, J., Broglio, S., ... 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. doi:10.1136/bjsports-2017-097699
- ¹⁵ Ellis MJ, Ryner LN, Sobczyk O, Fierstra J, Mikulis DJ, Fisher JA, Duffin J, Mutch WA. Neuroimaging Assessment of Cerebrovascular Reactivity in Concussion: Current Concepts, Methodological Considerations, and Review of the Literature. *Front Neurol*. 2016 Apr 29;7:61. doi: 10.3389/fneur.2016.00061. PMID: 27199885; PMCID: PMC4850165.
- ¹⁶ Spiotta, A. M., Shin, J. H., Bartsch, A. J., & Benzel, E. C. (2011). Subconcussive Impact in Sports: A New Era of Awareness. *World Neurosurgery*, 75(2), 175–178. doi:10.1016/j.wneu.2011.01.019
- ¹⁷ Rawlings, S., Takechi, R., & Lavender, A. P. (2020). Effects of sub-concussion on neuropsychological performance and its potential mechanisms: A narrative review. *Brain Research Bulletin*, 165, 56–62. doi:10.1016/j.brainresbull.2020.09.021
- ¹⁸ Sussman, E. S., Pendharkar, A. V., Ho, A. L., & Ghajar, J. (2018). Mild traumatic brain injury and concussion: terminology and classification. *Handbook of Clinical Neurology*, 21–24. doi:10.1016/b978-0-444-63954-7.00003-3
- ¹⁹ Mckee AC, Daneshvar DH. The neuropathology of traumatic brain injury. *Handb Clin Neurol*. 2015;127:45-66. doi: 10.1016/B978-0-444-52892-6.00004-0. PMID: 25702209; PMCID: PMC4694720.
- ²⁰ Echemendia, R. J., Meeuwisse, W., McCrory, P., Davis, G. A., Putukian, M., Leddy, J., ... Herring, S. (2017). The Sport Concussion Assessment Tool 5th Edition (SCAT5). *British Journal of Sports Medicine*, bjsports–2017–097506. doi:10.1136/bjsports-2017-097506
- ²¹ Roper AH, Gorson KC : Clinical practice. Concussion. *N Engl J Med* 2007 ; 356 : 166-72
- ²² Cassidy JD, Carroll LJ, Peloso PM et al. : Incidence, risk factors and prevention of mild traumatic brain injury : Results of the WHO Collaborating Centre Task Force on Mild Traumatic Brain Injury. *J Rehabil Med* 2004 ; 43 : 28-60
- ²³ Vidalin, H., Chermann, J.-F., Stiennon, T., & Valy, G. (2012). Commotion cérébrale et sport. *Science & Sports*, 27(6), 382–390. doi:10.1016/j.scispo.2012.10.004
- ²⁴ McCrea, M., Hammeke, T., Olsen, G., Leo, P., & Guskiewicz, K. (2004). Unreported Concussion in High School Football Players. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 14(1), 13–17. doi:10.1097/00042752-200401000-00003

-
- ²⁵ SANTÉ PUBLIQUE FRANCE / Épidémiologie des traumatismes crâniens en France et dans les pays occidentaux. Synthèse bibliographique, avril 2016
- ²⁶ Thurman D : Head Trauma : Basic, Preclinical, and Clinical Directions. In : Miller L, Ayes R, eds. Head Trauma : Basic, Preclinical, and Clinical Directions. New York, John Wiley and Sons, 2001 : 327-47
- ²⁷ Daneshvar DH, Nowinski CJ, McKee AC, et al. The epidemiology of sport-related concussion. *Clin Sports Med.* 2011a;30:1–17. vii.
- ²⁸ Spiotta, A. M., Shin, J. H., Bartsch, A. J., & Benzel, E. C. (2011). Subconcussive Impact in Sports: A New Era of Awareness. *World Neurosurgery*, 75(2), 175–178. doi:10.1016/j.wneu.2011.01.019
- ²⁹ Hager, J. P., & Girard, F. (2019). Physiopathologie de la commotion cérébrale du sportif : mise au point. *Science & Sports.* doi:10.1016/j.scispo.2019.01.002
- ³⁰ Hager, J. P., & Girard, F. (2019). Physiopathologie de la commotion cérébrale du sportif : mise au point. *Science & Sports.* doi:10.1016/j.scispo.2019.01.002
- ³¹ Lindgren, S., & Rinder, L. (1966). Experimental studies in head injury. *Biophysik*, 3(2), 174–180. doi:10.1007/bf01191611
- ³² Viano, D. C. (n.d.). Head Impact Biomechanics in Sport. *Solid Mechanics and Its Applications*, 121–130. doi:10.1007/1-4020-3796-1_12
- ³³ Viano, D. C. (n.d.). Head Impact Biomechanics in Sport. *Solid Mechanics and Its Applications*, 121–130. doi:10.1007/1-4020-3796-1_12
- ³⁴ Yoganandan, N., Li, J., Zhang, J., Pintar, F. A., & Gennarelli, T. A. (2008). Influence of angular acceleration–deceleration pulse shapes on regional brain strains. *Journal of Biomechanics*, 41(10), 2253–2262. doi:10.1016/j.jbiomech.2008.04.019
- ³⁵ Follmer, B., Dellagrana, R. A., & Zehr, E. P. (2019). Head Trauma Exposure in Mixed Martial Arts Varies According to Sex and Weight Class. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 194173811982796. doi:10.1177/1941738119827966
- ³⁶ Viano, D. C. (n.d.). Head Impact Biomechanics in Sport. *Solid Mechanics and Its Applications*, 121–130. doi:10.1007/1-4020-3796-1_12
- ³⁷ McCrory P, Feddermann-Demont N, Dvořák J, Cassidy JD, McIntosh A, Vos PE, Echemendia RJ, Meeuwisse W, Tarnutzer AA. What is the definition of sports-related concussion: a systematic review. *Br J Sports Med.* 2017 Jun;51(11):877-887. doi: 10.1136/bjsports-2016-097393. PMID: 29098981.
- ³⁸ Giza CC, Hovda DA. The new neurometabolic cascade of concussion. *Neurosurgery* 2014;75:S24–33

-
- ³⁹ Hager, J. P., & Girard, F. (2019). Physiopathologie de la commotion cérébrale du sportif : mise au point. *Science & Sports*. doi:10.1016/j.scispo.2019.01.002
- ⁴⁰ Katayama Y, Becker DP, Tamura T, Hovda DA. Massive increases in extracellular potassium and the indiscriminate release of glutamate following concussive brain injury. *J Neurosurg*. 1990;73:889–900. 0022-3085 SB - A SB - M SB – X
- ⁴¹ Takahashi H, Manaka S, Sano K. Changes in extracellular potassium concentration in cortex and brain stem during the acute phase of experimental closed head injury. *J Neurosurg*. 1981;55:708–717. 0022-3085 SB - A SB – M
- ⁴² Giza, C. C., & Hovda, D. A. (2014). The New Neurometabolic Cascade of Concussion. *Neurosurgery*, 75, S24–S33. doi:10.1227/neu.0000000000000505
- ⁴³ Yoshino A, Hovda DA, Kawamata T, Katayama Y, Becker DP. Dynamic changes in local cerebral glucose utilization following cerebral concussion in rats : evidence of a hyper- and subsequent hypometabolic state. 1991;561:106–119
- ⁴⁴ Hovda DA. Metabolic Dysfunction. In: Narayan RK, Wilberger JE, Povlishock JT, editors. *Neurotrauma*. New York: McGraw-Hill; 1996. pp. 1459–1478
- ⁴⁵ Yoshino A, Hovda DA, Kawamata T, Katayama Y, Becker DP. Dynamic changes in local cerebral glucose utilization following cerebral concussion in rats : evidence of a hyper- and subsequent hypometabolic state. 1991;561:106–119
- ⁴⁶ Pettus EH, Povlishock JT. Characterization of a distinct set of intra-axonal ultrastructural changes associated with traumatically induced alteration in axolemmal permeability. *Brain Res*. 1996;722:1–11. 0006-8993 SB - M.
- ⁴⁷ Giza CC, Maria NSS, Hovda Da. N -Methyl- D -Aspartate Receptor Subunit Changes after Traumatic Injury to the Developing Brain. *J Neurotrauma*. 2006;23(6):950–961
- ⁴⁸ Israelsson C, Bengtsson H, Kylberg A, et al. Distinct cellular patterns of upregulated chemokine expression supporting a prominent inflammatory role in traumatic brain injury. *J Neurotrauma*. 2008;25:959–974. 0897-7151
- ⁴⁹ Kelley BJ, Lifshitz J, Povlishock JT. Neuroinflammatory responses after experimental diffuse traumatic brain injury. *JNeuropatholExpNeurol*. 2007;66:989–1001. 0022-3069
- ⁵⁰ Hager, J. P., & Girard, F. (2019). Physiopathologie de la commotion cérébrale du sportif : mise au point. *Science & Sports*. doi:10.1016/j.scispo.2019.01.002
- ⁵¹ Giza CC, Hovda DA. The new neurometabolic cascade of concussion. *Neurosurgery*. 2014 Oct;75 Suppl 4(0 4):S24-33. doi: 10.1227/NEU.0000000000000505. PMID: 25232881; PMCID: PMC4479139.
- ⁵² Hager, J. P., & Girard, F. (2019). Physiopathologie de la commotion cérébrale du sportif : mise au point. *Science & Sports*. doi:10.1016/j.scispo.2019.01.002

-
- ⁵³ McKee AC, Stern Ra, Nowinski CJ, et al. The spectrum of disease in chronic traumatic encephalopathy. *Brain*. 2013;136(Pt 1):43–64. doi: 10.1093/brain/aws307
- ⁵⁴ Yao X, Liu J, McCabe JT. Alterations of cerebral cortex and hippocampal proteasome subunit expression and function in a traumatic brain injury rat model. 2008:353–363. doi: 10.1111/j.1471-4159.2007.04970.x
- ⁵⁵ Martínez A, Portero-Otin M, Pamplona R, Ferrer I. Protein targets of oxidative damage in human neurodegenerative diseases with abnormal protein aggregates. *Brain Pathol*. 2010;20(2):281–97. doi: 10.1111/j.1750-3639.2009.00326.x
- ⁵⁶ Wilde EA, McCauley SR, Hunter JV, et al. Diffusion tensor imaging of acute mild traumatic brain injury in adolescents. *Neurology*. 2008;70(12):948–955. doi: 10.1212/01.wnl.0000305961.68029.54
- ⁵⁷ McAllister TW, Sparling MB, Flashman La, Guerin SJ, Mamourian aC, Saykin aJ. Differential working memory load effects after mild traumatic brain injury. *Neuroimage*. 2001;14(5):1004–12. doi: 10.1006/nimg.2001.0899
- ⁵⁸ Johnson VE, Stewart JE, Begbie FD, Trojanowski JQ, Smith DH, Stewart W. Inflammation and white matter degeneration persist for years after a single traumatic brain injury. *Brain*. 2013;136:28–42. 1460-2156 (Electronic)
- ⁵⁹ Johnson VE, Stewart W, Smith DH. Axonal pathology in traumatic brain injury. *Exp Neurol*. 2013;246:35–43. doi: 10.1016/j.expneurol.2012.01.013
- ⁶⁰ Reeves TM, Phillips LL, Povlishock JT. Myelinated and unmyelinated axons of the corpus callosum differ in vulnerability and functional recovery following traumatic brain injury. 2005 doi: 10.1016/j.expneurol.2005.07.014
- ⁶¹ Ganti L, Khalid H, Patel PS, Daneshvar Y, Bodhit AN, Peters KR. Who gets post-concussion syndrome? An emergency department-based prospective analysis. *Int J Emerg Med*. 2014 Aug 20;7:31. doi: 10.1186/s12245-014-0031-6. PMID: 25635191; PMCID: PMC4306054.
- ⁶² Ellis MJ, Ryner LN, Sobczyk O, Fierstra J, Mikulis DJ, Fisher JA, Duffin J, Mutch WA. Neuroimaging Assessment of Cerebrovascular Reactivity in Concussion: Current Concepts, Methodological Considerations, and Review of the Literature. *Front Neurol*. 2016 Apr 29;7:61. doi: 10.3389/fneur.2016.00061. PMID: 27199885; PMCID: PMC4850165.
- ⁶³ Guskiewicz, K. M. (2003). Assessment of Postural Stability Following Sport-related Concussion. *Current Sports Medicine Reports*, 2(1), 24–30. doi:10.1249/00149619-200302000-00006
- ⁶⁴ Bey T, Ostick B. Second impact syndrome. *West J Emerg Med*. 2009 Feb;10(1):6-10. PMID: 19561758; PMCID: PMC2672291.

⁶⁵ Edwards, Jonathan C; Bodle, Jeffrey D (2014). "Causes and Consequences of Sports Concussion". *The Journal of Law, Medicine & Ethics*. **42** (2): 128–32. doi:[10.1111/jlme.12126](https://doi.org/10.1111/jlme.12126). PMID [25040374](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25040374/)

⁶⁶ Cantu RC, Gean AD. Second-impact syndrome and a small subdural hematoma: an uncommon catastrophic result of repetitive head injury with a characteristic imaging appearance. *J Neurotrauma*. 2010 Sep;27(9):1557-64. doi: 10.1089/neu.2010.1334. PMID: 20536318; PMCID: PMC2956379.

⁶⁷ Lovell, M. R., Collins, M. W., Iverson, G. L., Field, M., Maroon, J. C., Cantu, R., ... Fu, F. H. (2003). Recovery from mild concussion in high school athletes. *Journal of Neurosurgery*, 98(2), 296–301. doi:10.3171/jns.2003.98.2.0296

⁶⁸ Collins MW, Kontos AP, Reynolds E, Murawski CD, Fu FH. A comprehensive, targeted approach to the clinical care of athletes following sport-related concussion. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014 Feb;22(2):235-46. doi: 10.1007/s00167-013-2791-6. Epub 2013 Dec 12. PMID: 24337463.

⁶⁹ McKee AC, Cantu RC, Nowinski CJ, Hedley-Whyte ET, Gavett BE, Budson AE, Santini VE, Lee HS, Kubilus CA, Stern RA. Chronic traumatic encephalopathy in athletes: progressive tauopathy after repetitive head injury. *J Neuropathol Exp Neurol*. 2009 Jul;68(7):709-35. doi: 10.1097/NEN.0b013e3181a9d503. PMID: 19535999; PMCID: PMC2945234.

⁷⁰ Mez J, Daneshvar DH, Kiernan PT, Abdolmohammadi B, Alvarez VE, Huber BR, Alosco ML, Solomon TM, Nowinski CJ, McHale L, Cormier KA, Kubilus CA, Martin BM, Murphy L, Baugh CM, Montenigro PH, Chaisson CE, Tripodis Y, Kowall NW, Weuve J, McClean MD, Cantu RC, Goldstein LE, Katz DI, Stern RA, Stein TD, McKee AC. Clinicopathological Evaluation of Chronic Traumatic Encephalopathy in Players of American Football. *JAMA*. 2017 Jul 25;318(4):360-370. doi: 10.1001/jama.2017.8334. PMID: 28742910; PMCID: PMC5807097.

⁷¹ Concannon LG, Kaufman MS, Herring SA. Counseling athletes on the risk of chronic traumatic encephalopathy. *Sports Health*. 2014 Sep;6(5):396-401. doi: 10.1177/1941738114530958. PMID: 25177414; PMCID: PMC4137675.

⁷² Purcell LK; Société canadienne de pédiatrie, comité d'une vie active saine et de la médecine sportive. L'évaluation et la prise en charge des commotions cérébrales liées au sport. *Paediatr Child Health*. 2014 Mar;19(3):159–65. French. PMCID: PMC3959978.

⁷³ Giza CC, Hovda DA. The new neurometabolic cascade of concussion. *Neurosurgery*. 2014 Oct;75 Suppl 4(0 4):S24-33. doi: 10.1227/NEU.0000000000000505. PMID: 25232881; PMCID: PMC4479139.

⁷⁴ Moser RS, Glatts C, Schatz P. Efficacy of immediate and delayed cognitive and physical rest for treatment of sports-related concussion. *J Pediatr*. 2012 Nov;161(5):922-6. doi: 10.1016/j.jpeds.2012.04.012. Epub 2012 May 22. PMID: 22622050.

-
- ⁷⁵ Leddy, J. J., Baker, J. G., & Willer, B. (2016). Active Rehabilitation of Concussion and Post-concussion Syndrome. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 27(2), 437–454. doi:10.1016/j.pmr.2015.12.003
- ⁷⁶ Silverberg ND, Iverson GL. Is rest after concussion “the best medicine?”: recommendations for activity resumption following concussion in athletes, civilians, and military service members. *J Head Trauma Rehabil* 2013;28(4):250–9.
- ⁷⁷ McCrory, P., Meeuwisse, W., Dvorak, J., Aubry, M., Bailes, J., Broglio, S., ... 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. doi:10.1136/bjsports–2017–097699
- ⁷⁸ McCrory, P., Meeuwisse, W., Dvorak, J., Aubry, M., Bailes, J., Broglio, S., ... 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. doi:10.1136/bjsports–2017–097699
- ⁷⁹ Leddy, J. J., Baker, J. G., & Willer, B. (2016). Active Rehabilitation of Concussion and Post-concussion Syndrome. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 27(2), 437–454. doi:10.1016/j.pmr.2015.12.003
- ⁸⁰ 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. doi:10.1177/0363546511410655
- ⁸¹ 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. *The American Journal of Sports Medicine*, 40(10), 2375–2384. doi:10.1177/0363546512455400
- ⁸² Merritt, V. C., Rabinowitz, A. R., & Arnett, P. A. (2015). Injury-related predictors of symptom severity following sports-related concussion. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 37(3), 265–275. doi:10.1080/13803395.2015.1004303
- ⁸³ Corwin, D. J., Wiebe, D. J., Zonfrillo, M. R., Grady, M. F., Robinson, R. L., Goodman, A. M., & Master, C. L. (2015). Vestibular Deficits following Youth Concussion. *The Journal of Pediatrics*, 166(5), 1221–1225. doi:10.1016/j.jpeds.2015.01.039
- ⁸⁴ Ellis, M. J., Leddy, J. J., & Willer, B. (2014). Physiological, vestibulo-ocular and cervicogenic post-concussion disorders: An evidence-based classification system with directions for treatment. *Brain Injury*, 29(2), 238–248. doi:10.3109/02699052.2014.965207
- ⁸⁵ Jacobson, G. P., & Newman, C. W. (1990). The Development of the Dizziness Handicap Inventory. *Archives of Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 116(4), 424–427. doi:10.1001/archotol.1990.01870040046011

-
- ⁸⁶ Brown, L., & Camarinos, J. (2019). The Role of Physical Therapy in Concussion Rehabilitation. *Seminars in Pediatric Neurology*. doi:10.1016/j.spen.2019.03.011
- ⁸⁷ Brosseau L, Laroche C, Sutton A, Guitard P, King J, Poitras S, Casimiro L, Tremblay M, Cardinal D, Cavallo S, Laferrière L, Grisé I, Marshall L, Smith JR, Lagacé J, Pharand D, Galipeau R, Toupin-April K, Loew L, Demers C, Sauvé-Schenk K, Paquet N, Savard J, Tourigny J, Vaillancourt V. Une version franco-canadienne de la Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale : L'Échelle PEDro. *Physiother Can*. 2015 Aug;67(3):232-9. French. doi: 10.3138/ptc.2014-37F. PMID: 26839449; PMCID: PMC4594813.
- ⁸⁸ Higgins, J. P. T., Altman, D. G., Gotzsche, P. C., Juni, P., Moher, D., ... Oxman, A. D. (2011). The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*, 343(oct18 2), d5928–d5928. doi:10.1136/bmj.d5928
- ⁸⁹ Schneider, K. J., Meeuwisse, W. H., Nettel-Aguirre, A., Barlow, K., Boyd, L., Kang, J., & Emery, C. A. (2014). Cervicovestibular rehabilitation in sport-related concussion: a randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*, 48(17), 1294–1298. doi:10.1136/bjsports-2013-093267
- ⁹⁰ Kleffelgaard, I., Soberg, H. L., Tamber, A.-L., Bruusgaard, K. A., Pripp, A. H., Sandhaug, M., & Langhammer, B. (2018). The effects of vestibular rehabilitation on dizziness and balance problems in patients after traumatic brain injury: a randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 026921551879127. doi:10.1177/0269215518791274
- ⁹¹ Sjøberg HL, Andelic N, Langhammer B, Tamber AL, Bruusgaard KA, Kleffelgaard I. Effect of vestibular rehabilitation on change in health-related quality of life in patients with dizziness and balance problems after traumatic brain injury: A randomized controlled trial. *J Rehabil Med*. 2021 Mar 31. doi: 10.2340/16501977-2823.
- ⁹² Vikane, E., Hellstrøm, T., Røe, C., Bautz-Holter, E., Aßmus, J., & Skouen, J. S. (2017). Multidisciplinary outpatient treatment in patients with mild traumatic brain injury: A randomised controlled intervention study. *Brain Injury*, 31(4), 475–484. doi:10.1080/02699052.2017.1280852
- ⁹³ Brian M. Moore, PT, DPT1,2 Joseph T. Adams, PT, DPT2 Edward Barakatt, PT, PhD1. (2016). Outcomes Following a Vestibular Rehabilitation and Aerobic Training Program to Address Persistent Post-Concussion Symptoms. [Journal of Allied Health](#) 45(4):e59-e68
- ⁹⁴ Kontos, A. P., Collins, M. W., Holland, C. L., Reeves, V. L., Edelman, K., Benso, S., ... Okonkwo, D. (2018). Preliminary Evidence for Improvement in Symptoms, Cognitive, Vestibular, and Oculomotor Outcomes Following Targeted Intervention with Chronic mTBI Patients . *Military Medicine*, 183(suppl_1), 333–338. doi:10.1093/milmed/usx172
- ⁹⁵ Kleffelgaard, I., Soberg, H. L., Bruusgaard, K. A., Tamber, A. L., & Langhammer, B. (2015). Vestibular Rehabilitation After Traumatic Brain Injury: Case Series. *Physical Therapy*, 96(6), 839–849. doi:10.2522/ptj.20150095
- ⁹⁶ Peeters, W., van den Brande, R., Polinder, S., Brazinova, A., Steyerberg, E. W., Lingsma, H. F., & Maas, A. I. R. (2015). Epidemiology of traumatic brain injury in Europe. *Acta Neurochirurgica*, 157(10), 1683–1696. doi:10.1007/s00701-015-2512-7
- ⁹⁷ Langevin P, Fait P, Frémont P, Roy JS. Cervicovestibular rehabilitation in adult with mild traumatic brain injury: a randomised controlled trial protocol. *BMC Sports Sci Med Rehabil*.

2019 Nov 11;11:25. doi: 10.1186/s13102-019-0139-3. PMID: 31737275; PMCID:
PMC6844027.

Annexe 1 :

SCAT5® OUTIL D'ÉVALUATION DE LA COMMOTION DANS LE SPORT – 5^e ÉDITION
MIS AU POINT PAR LE CISG
UTILISATION RÉSERVÉE AUX PROFESSIONNELS DE LA SANTÉ

avec le soutien de



Informations sur le patient

Nom: _____
Date de naissance: _____
Adresse: _____
Numéro d'identification: _____
Examineur.trice: _____
Date du traumatisme: _____ Heure: _____

QU'EST-CE QUE LE SCAT5?

Le SCAT5 est un outil d'évaluation standardisé des commotions cérébrales, conçu pour être utilisé par les médecins et les professionnels de la santé diplômés¹. Le SCAT5 ne peut pas être effectué correctement en moins de 10 minutes

Si vous n'êtes pas médecin ou professionnel de la santé diplômé, veuillez utiliser l'outil d'identification des commotions cérébrales 5 (Concussion Recognition Tool 5, CRT5). Le SCAT5 sert à évaluer les athlètes à partir de 13 ans. Pour les enfants de 12 ans et moins, veuillez utiliser le SCAT5 pour enfants.

L'examen de base SCAT5 d'avant-saison peut être utile pour interpréter les scores du test suite à un traumatisme, mais il n'est pas obligatoire. Des instructions d'utilisation détaillées pour le SCAT5 sont fournies page 7. Veuillez lire attentivement ces instructions avant de procéder à l'évaluation de l'athlète. De courtes instructions verbales pour chaque test sont fournies en italiques. Le seul équipement nécessaire pour le test est une montre ou un chronomètre.

Cet outil peut être copié librement sous sa forme actuelle afin d'être distribué aux particuliers, aux équipes, aux groupes et aux organisations. Il ne doit en aucun cas être modifié, renommé ou vendu à des fins commerciales. Toute révision, traduction ou reproduction sous forme numérique nécessite l'approbation spécifique du CISG.

Identifier et retirer du jeu

Un impact à la tête par coup direct ou transmission de force indirecte peut être associé à une lésion cérébrale grave et potentiellement mortelle. En cas d'inquiétude importante, notamment si vous remarquez l'un des signaux d'alarme de la Case 1, lancez immédiatement les procédures d'urgence et envoyez d'urgence l'athlète à l'hôpital.

Points clés

- Tout athlète chez qui vous soupçonnez une commotion cérébrale doit **QUITTER LE TERRAIN**, passer une évaluation médicale et rester sous surveillance afin de détecter toute détérioration. Aucun athlète atteint de commotion cérébrale ne doit retourner sur le terrain le jour du traumatisme.
- Si vous soupçonnez une commotion cérébrale et que le personnel médical n'est pas immédiatement disponible, faites transférer l'athlète dans une structure médicale pour une évaluation d'urgence.
- Les athlètes chez qui l'on soupçonne une commotion cérébrale ne doivent pas boire d'alcool, consommer de drogue ou conduire de véhicule motorisé avant d'en avoir reçu l'autorisation par un professionnel de la santé.
- Les signes et symptômes d'une commotion cérébrale évoluent avec le temps, et il est important d'envisager une deuxième évaluation.
- Le diagnostic d'une commotion cérébrale est un jugement clinique effectué par un professionnel de la santé. Le SCAT5 ne doit PAS être utilisé seul pour établir le diagnostic d'une commotion cérébrale, ou l'exclure. Une commotion cérébrale est possible même si le SCAT5 de l'athlète est «normal».

Remarque:

- Les principes de base de premiers secours (danger, réaction, voies respiratoires, respiration, circulation) doivent être suivis.
- N'essayez pas de déplacer l'athlète (sauf pour dégager ses voies respiratoires) à moins d'avoir reçu la formation nécessaire.
- Le dépistage des traumatismes médullaires est essentiel lors de l'évaluation initiale sur le terrain.
- N'enlevez pas de casque ou tout autre équipement, à moins d'avoir reçu la formation nécessaire.

ÉVALUATION EN CABINET OU HORS DU TERRAIN

Noter que l'évaluation neurocognitive doit être effectuée dans un environnement sans distractions, pendant que l'athlète est au repos.

ÉTAPE 1: INFORMATIONS SUR L'ATHLÈTE

Sport / équipe / école: _____

Date / heure du traumatisme: _____

Années de scolarité révolues: _____

Âge: _____

Sexe: H / F / Autre

Main dominante: gauche / aucune / droite

Combien de commotions cérébrales ont déjà été diagnostiquées chez l'athlète? _____

À quand remonte sa dernière commotion cérébrale? _____

Combien de temps a duré la guérison (temps avant le retour au jeu) de sa dernière commotion cérébrale? _____ (jours)

L'athlète a-t-il/elle déjà:

	Oui	Non
Été hospitalisé.e suite à un traumatisme crânien?		
Reçu un diagnostic/traitement pour des céphalées ou des migraines?		
Reçu un diagnostic de trouble de l'apprentissage/dyslexie?		
Reçu un diagnostic de TDA/TDAH?		
Reçu un diagnostic de dépression, d'anxiété ou d'autre trouble psychiatrique?		

Traitements actuels? Si oui, lesquels:

Nom: _____

Date de naissance: _____

Adresse: _____

Numéro d'identification: _____

Examineur.trice: _____

Date: _____

2

ÉTAPE 2: ÉVALUATION DES SYMPTÔMES

Vous devez donner le formulaire des symptômes à l'athlète et lui demander de lire ce paragraphe d'instructions à voix haute avant de remplir l'échelle. Pour l'évaluation de base, l'athlète doit donner une note à ses symptômes selon son ressenti habituel. Pour l'évaluation post-traumatisme, l'athlète doit donner une note à ses symptômes actuels.

Cochez la case correspondante: Base Post-traumatisme

Donnez le formulaire à l'athlète

	RIAS	Léger	Modéré	Important			
Maux de têtes	0	1	2	3	4	5	6
«Pression dans le crâne»	0	1	2	3	4	5	6
Douleur dans le cou	0	1	2	3	4	5	6
Nausée ou vomissement	0	1	2	3	4	5	6
Vertiges	0	1	2	3	4	5	6
Vision trouble	0	1	2	3	4	5	6
Problèmes d'équilibre	0	1	2	3	4	5	6
Sensibilité à la lumière	0	1	2	3	4	5	6
Sensibilité au bruit	0	1	2	3	4	5	6
Sensation d'être ralenti.e	0	1	2	3	4	5	6
Sensation d'être «dans le brouillard»	0	1	2	3	4	5	6
«Ne pas se sentir normal.e»	0	1	2	3	4	5	6
Problèmes de concentration	0	1	2	3	4	5	6
Problèmes de mémoire	0	1	2	3	4	5	6
Fatigue ou manque d'énergie	0	1	2	3	4	5	6
Confusion	0	1	2	3	4	5	6
Somnolence	0	1	2	3	4	5	6
Sensibilité	0	1	2	3	4	5	6
Irritabilité	0	1	2	3	4	5	6
Tristesse	0	1	2	3	4	5	6
Nervosité ou anxiété	0	1	2	3	4	5	6
Difficultés à s'endormir (si applicable)	0	1	2	3	4	5	6

Nombre total de symptômes: _____ sur 22

Degré de sévérité des symptômes: _____ sur 132

Vos symptômes s'aggravent-ils pendant une activité physique? O N

Vos symptômes s'aggravent-ils pendant une activité mentale? O N

Si 100 % correspond à une sensation normale, à combien de pour cent vous sentez-vous normal.e?

Si la réponse n'est pas 100%, pourquoi?

Rendez le formulaire à l'examineur.trice

ÉTAPE 3: EXAMEN COGNITIF

Évaluation standardisée des commotions cérébrales (SAC)⁴

ORIENTATION

Quel mois sommes-nous ?	0	1
Quelle est la date d'aujourd'hui ?	0	1
Quel jour de la semaine sommes-nous ?	0	1
En quelle année sommes-nous ?	0	1
Quelle heure est-il ? (à 1 h près)	0	1
Score d'orientation	sur 5	

MÉMOIRE IMMÉDIATE

Le test de mémoire immédiate peut être effectué avec la liste classique de cinq mots par test, ou avec une liste optionnelle de dix mots afin de minimiser tout effet de plafonnement. Vous devez faire passer les trois tests à l'athlète, quel que soit le nombre de réponses correctes au premier. Prononcez un mot par seconde.

Choisissez le groupe de listes de cinq mots OU dix mots et entourez la liste spécifique choisie pour ce test.

Je vais tester votre mémoire. Je vais vous lire une liste de mots, et vous devez ensuite répéter tous les mots dont vous vous souvenez, peu importe l'ordre. Pour les tests 2 et 3 : Je vais répéter la même liste. Répétez tous les mots dont vous vous souvenez, peu importe l'ordre, même si vous avez déjà dit le mot.

Liste	Listes de cinq mots alternatives						Score (sur 5)		
							Test 1	Test 2	Test 3
A	Doigt	Monnaie	Couverture	Citron	Insecte				
B	Bougie	Papier	Sucre	Sandwich	Wagon				
C	Bébé	Singe	Parfum	Coucher de soleil	Fer				
D	Coude	Pomme	Tapis	Selle	Bulle				
E	Veste	Flèche	Poivre	Coton	Film				
F	Dollar	Miel	Miroir	Selle	Ancre				
Score de mémoire immédiate						sur 15			
Heure de passage du dernier test									

Liste	Listes de dix mots alternatives						Score (sur 10)		
							Test 1	Test 2	Test 3
G	Doigt	Monnaie	Couverture	Citron	Insecte				
	Bougie	Papier	Sucre	Sandwich	Wagon				
H	Bébé	Singe	Parfum	Coucher de soleil	Fer				
	Coude	Pomme	Tapis	Selle	Bulle				
I	Veste	Flèche	Poivre	Coton	Film				
	Dollar	Miel	Miroir	Selle	Ancre				
Score de mémoire immédiate						sur 30			
Heure de passage du dernier test									

Nom: _____

Date de naissance: _____

Adresse: _____

Numéro d'identification: _____

Examineur.trice: _____

Date: _____

CONCENTRATION CHIFFRES À L'ENVERS

Entourez la liste de chiffres choisie (A, B, C, D, E, F). Lisez un chiffre par seconde, en lisant la colonne sélectionnée DE HAUT EN BAS.

Je vais vous lire une liste de chiffres, et vous allez ensuite me la répéter dans l'ordre inverse de celui dans lequel vous l'avez entendue. Par exemple, si je dis 7-1-9, vous devez dire 9-1-7.

Concentration: listes de chiffres (arrangez-en une)								
Liste A	Liste B	Liste C						
4-9-3	5-2-6	1-4-2	D	N	0			
6-2-9	4-1-5	6-5-8	D	N	1			
3-8-1-4	1-7-9-5	6-8-3-1	D	N	0			
3-2-7-9	4-9-6-8	3-4-8-1	D	N	1			
6-2-9-7-1	4-8-5-2-7	4-9-1-5-3	D	N	0			
1-5-2-8-6	6-1-8-4-3	6-8-2-5-1	D	N	1			
7-1-8-4-6-2	8-3-1-9-6-4	3-7-6-5-1-9	D	N	0			
5-3-9-1-4-8	7-2-4-8-5-6	9-2-6-5-1-4	D	N	1			
Liste D	Liste E	Liste F						
7-8-2	3-8-2	2-7-1	D	N	0			
9-2-6	5-1-8	4-7-9	D	N	1			
4-1-8-3	2-7-9-3	1-6-8-3	D	N	0			
9-7-2-3	2-1-6-9	3-9-2-4	D	N	1			
1-7-9-2-5	4-1-8-6-9	2-4-7-5-8	D	N	0			
4-1-7-5-2	9-4-1-7-5	8-3-9-6-4	D	N	1			
2-6-4-8-1-7	6-9-7-3-8-2	5-8-6-2-4-9	D	N	0			
8-4-1-9-3-5	4-2-7-9-3-8	3-1-7-8-2-6	D	N	1			
Score des chiffres:						sur 4		

MOIS À L'ENVERS

Maintenant, récitez les mois de l'année à l'envers. Commencez par le dernier mois et remontez-les. Vous allez donc dire « décembre, novembre ». Allez-y.

Déc – Nov – Oct – Sept – Août – Juil – Juin
– Mai – Avr – Mar – Fév – Jan

0 1

Score des mois sur 1

Score de concentration total (Chiffres + Mois) sur 5

4

ÉTAPE 4: EXAMEN NEUROLOGIQUE

Consultez la fiche d'instructions (page 7) pour en savoir plus sur la mise en place du test et les résultats.

Le patient peut-il lire à voix haute (par ex. la liste des symptômes) et suivre des instructions sans difficulté ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N
Le patient a-t-il une amplitude de mouvements PASSIFS complète du rachis cervical sans douleur ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N
Sans bouger la tête ou le cou, le patient peut-il regarder sur les côtés, en haut et en bas sans voir double ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N
Le patient peut-il effectuer normalement le test de coordination doigt-nez ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N
Le patient peut-il effectuer normalement une marche en tandem ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N

EXAMEN D'ÉQUILIBRE

Version modifiée du test BESS (Balance Error Scoring System)¹

Quel pied est testé (c.-à-d. le pied non dominant) Gauche Droit

Surface du test (sol dur, terrain, etc.) _____

Chaussures (pieds nus, chaussures, attelle, bandes, etc.) _____

Position	Erreurs
Position sur deux pieds	sur 10
Position sur un pied (non-dominant)	sur 10
Position en tandem (pied non-dominant à l'arrière)	sur 10
Erreurs totales	sur 30

Nom: _____

Date de naissance: _____

Adresse: _____

Numéro d'identification: _____

Examineur.trice: _____

Date: _____

5

ÉTAPE 5: MÉMOIRE DIFFÉRÉE

Le test de mémoire différée doit être effectué cinq minutes après la fin de la partie sur la mémoire immédiate. Marquez un point par réponse correcte.

Vous rappelez-vous la liste de mots que j'ai lue un peu plus tôt ? Réécitez autant de mots de cette liste que possible, peu importe l'ordre.

Heure de début _____

Veillez inscrire chaque mot correct récité. Le score total correspond au nombre de mots dont le patient se souvient.

Nombre total de mots corrects récités sur 5 ou sur 10

6

ÉTAPE 6: DÉCISION

Domaine	Date et heure de l'évaluation:		
Nombre de symptômes (sur 22)			
Score de gravité des symptômes (sur 132)			
Orientation (sur 5)			
Mémoire immédiate	sur 15 sur 30	sur 15 sur 30	sur 15 sur 30
Concentration (sur 5)			
Examen neurologique	Normal Anormal	Normal Anormal	Normal Anormal
Erreurs d'équilibre (sur 30)			
Mémoire différée	sur 5 sur 10	sur 5 sur 10	sur 5 sur 10

Date et heure du traumatisme: _____

Si vous connaissiez l'athlète avant le traumatisme, notez-vous des différences par rapport à d'habitude?

Oui Non Je ne sais pas Ne s'applique pas

(En cas de différence, décrivez pourquoi dans la section des notes cliniques)

Commotion cérébrale diagnostiquée?

Oui Non Je ne sais pas Ne s'applique pas

En cas de nouveau test, y a-t-il des progrès?

Oui Non Je ne sais pas Ne s'applique pas

Je suis médecin ou professionnel de la santé diplômé et j'ai personnellement fait passer ce SCAT5 ou je l'ai supervisé.

Signature: _____

Nom: _____

Titre: _____

Numéro d'inscription (si applicable): _____

Date: _____

LES DONNÉES DE SCORE DU SCAT5 NE DOIVENT PAS ÊTRE UTILISÉS COMME SEULE MÉTHODE POUR DIAGNOSTIQUER UNE COMMOTION CÉRÉBRALE, ÉVALUER LA CONVALESCENCE DE L'ATHLÈTE OU POUR DÉCIDER DE SON APTITUDE À REPRENDRE LA COMPÉTITION APRÈS UNE COMMOTION CÉRÉBRALE

INSTRUCTIONS

Les mots en *italique*, du SCAT5 correspondent aux instructions données à l'athlète par le professionnel de santé.

Échelle des symptômes

Les symptômes doivent être mesurés en fonction du type de test en cours. Pour le test de base, il vaut mieux évaluer comment l'athlète se sent « de manière générale », tandis que pour la phase aiguë ou la phase qui suit, mieux vaut demander à l'athlète comment il se sent au moment du test.

L'échelle des symptômes doit être remplie par l'athlète et non par la personne qui l'examine. Si l'échelle des symptômes est établie après l'effort, il convient de le faire lorsque le sportif se trouve au repos, ce qui peut être évalué en mesurant son rythme cardiaque.

Le nombre maximum de symptômes possibles est 22, sauf immédiatement après la blessure lorsque le sommeil est exclu, ce qui réduit le maximum à 21.

Pour établir le score de gravité des symptômes, additionnez tous les scores du tableau. Le maximum possible $22 \times 6 = 132$, sauf immédiatement après la blessure, lorsque le sommeil est exclu, ce qui réduit le maximum à $21 \times 6 = 126$.

Mémoire immédiate

Le test de mémoire immédiate peut être effectué avec la liste classique de cinq mots par test, ou avec une liste optionnelle de dix mots. Les recherches suggèrent que la mémoire immédiate a un effet de plafonnement notable avec une liste de cinq mots. Lorsque ce plafonnement est important, l'examineur peut décider d'augmenter la difficulté du test en ajoutant deux listes de cinq mots, pour un total de dix mots par test. Dans ce cas, le score maximum par test s'élève à 10, avec un total maximum pour l'ensemble des tests de 30.

Choisissez l'une des listes de mots (cinq ou dix). Effectuez ensuite trois tests de mémoire immédiate avec cette liste.

Effectuez les trois tests, quel que soit le score des tests précédents.

"Je vais tester votre mémoire. Je vais vous lire une liste de mots, et vous devrez ensuite répéter tous les mots dont vous vous souvenez, dans n'importe quel ordre." Vous devez lire un mot par seconde.

Vous devez effectuer les tests 2 et 3, quel que soit le score des tests 1 et 2.

Tests 2 et 3:

"Je vais répéter la même liste. Répétez tous les mots dont vous vous souvenez, peu importe l'ordre, même si vous avez déjà dit le mot."

Marquez un point par réponse correcte. Le score total correspond à la somme des trois tests. Ne dites PAS à l'athlète que vous allez tester sa mémoire différée.

Concentration

Chiffres à l'envers

Choisissez l'une des colonnes de chiffres des listes A, B, C, D, E ou F et énoncez ces chiffres comme suit:

Dites : *"Je vais vous lire une série de chiffres, et vous allez ensuite me la répéter dans l'ordre inverse de celui dans lequel vous l'avez entendue. Par exemple, si je dis 7-7-9, vous devez dire 9-7-7."*

Commencez par une série de trois chiffres.

Si elle est correcte, entourez O et passez à la longueur suivante de série de chiffres. Si elle n'est pas correcte, entourez N pour la première longueur et lisez la série de la même longueur du test 2. Un point est possible par longueur de série. Arrêtez après une réponse incorrecte aux deux essais (2 N). Les chiffres doivent être lus au rythme d'un par seconde.

Mois à l'envers

"Maintenant, récitez les mois de l'année à l'envers. Commencez par le dernier mois et remontez-les. Vous allez donc dire décembre, novembre... Allez-y."

Un point si toute la séquence est correcte.

Mémoire différée

Le test de mémoire différée doit être effectué cinq minutes après la fin de la partie sur la mémoire immédiate.

"Vous rappelez-vous la liste de mots que j'ai lue un peu plus tôt ? Récitez autant de mots de cette liste que possible, dans n'importe quel ordre."

Comptez un point par réponse correcte.

Version modifiée du test BESS (Balance Error Scoring System)⁵

Ce test d'équilibre est basé sur une version modifiée du test BESS (Balance Error Scoring System)⁵. Un dispositif de chronométrage est requis pour ce test.

Chaque test/position de 20 secondes est noté en comptant le nombre d'erreurs.

L'examineur/trice commence à compter les erreurs une fois que l'athlète a adopté la bonne position de départ. Le test BESS modifié est calculé en comptant un point d'erreur pour chaque erreur pendant les 3 essais de 20 secondes. Le nombre maximum d'erreurs pour chaque position est de 10. Si l'athlète commet plusieurs erreurs en même temps, seule une erreur est comptée, mais l'athlète doit vite se remettre en position de test, et le décompte reprend lorsque l'athlète est en place. Si l'athlète est incapable de maintenir la position testée au moins cinq secondes au début, le nombre maximal d'erreurs (dix) sera compté pour la position en question.

OPTION : Pour une évaluation plus poussée, les trois mêmes positions peuvent être effectuées sur une surface en mousse de densité moyenne (c.-à-d. environ 50 cm x 40 cm x 6 cm).

Test d'équilibre – types d'erreurs

- | | | |
|---------------------------------------|---|---|
| 1. Mains écartées de la crête iliaque | 3. Pas, trébuchement ou chute | 5. Soulèvement de l'avant-pied ou du talon |
| 2. Ouverture des yeux | 4. Déplacement des hanches en abduction > 30° | 6. Abandon de la position pendant plus de 5 sec |

"Je vais maintenant tester votre équilibre. Enlevez vos chaussures (si applicable), remontez votre pantalon au-dessus des chevilles (si applicable) et enlevez les bandes sur vos chevilles (si applicable). Ce test consistera en trois tests de vingt secondes dans des positions différentes."

(a) Position sur deux pieds:

"La première position consiste à vous tenir debout, pieds joints, les mains sur les hanches et les yeux fermés. Vous devez rester stable dans cette position pendant 20 secondes. Je vais compter le nombre de fois que vous quitterez cette position. Je vais lancer le chronomètre lorsque vous serez en position, les yeux fermés."

(b) Position sur un pied:

Si vous deviez taper dans un ballon, quel pied utiliseriez-vous? [C'est le pied dominant] Maintenant, tenez-vous sur votre pied non-dominant. La jambe dominante doit être maintenue en flexion d'environ 30 degrés par rapport à la hanche, avec flexion du genou d'environ 45 degrés. Une fois encore, vous devez essayer de rester stable pendant 20 secondes, les mains sur les hanches et les yeux fermés. Je vais compter le nombre de fois que vous quitterez cette position. Si vous êtes déséquilibré, ouvrez les yeux, reprenez la position de départ et continuez. Je vais lancer le chronomètre lorsque vous serez en position, les yeux fermés."

(c) Position pieds alignés:

"À présent, alignez vos pieds en plaçant le pied non dominant derrière l'autre, la pointe contre son talon. Votre poids doit être bien réparti sur les deux pieds. Une fois encore, vous devez essayer de rester stable pendant 20 secondes, les mains sur les hanches et les yeux fermés. Je vais compter le nombre de fois que vous quitterez cette position. Si vous êtes déséquilibré, ouvrez les yeux, reprenez la position de départ et continuez. Je vais lancer le chronomètre lorsque vous serez en position, les yeux fermés."

Marche du funambule

Les participants doivent être debout, les pieds joints, derrière une ligne de départ (le test est plus efficace sans chaussures). Ensuite, ils doivent marcher vers l'avant, de manière aussi rapide et précise que possible, le long d'une ligne de 38 mm de large (matérialisée par une bande adhésive) et de 3 m de long, en plaçant à chaque pas le talon juste devant les orteils, en alternance. Une fois qu'ils ont parcouru les 3 m, ils doivent faire demi-tour et retourner au point de départ avec la même démarche. Les athlètes échouent s'ils marchent hors de la ligne, laissent un intervalle entre leur talon et leurs orteils, ou s'ils touchent ou attrapent l'examineur/trice ou un objet.

Doigts-nez

"Je vais maintenant tester votre coordination. Asseyez-vous confortablement sur la chaise, avec les yeux ouverts et le bras (droit ou gauche) tendu devant vous (flexion de l'épaule à 90 degrés, le coude et les doigts en extension). Lorsque je donnerai le signal de départ, touchez cinq fois de suite le bout de votre nez avec votre index et revenez en position de départ, de manière aussi rapide et précise que possible."

Références

1. McCrory et al. Consensus Statement On Concussion In Sport – The 5th International Conference On Concussion In Sport Held In Berlin, October 2016. British Journal of Sports Medicine 2017 (available at www.bjsm.bmj.com)
2. Maddocks, DL; Dicker, GD; Saling, MM. The assessment of orientation following concussion in athletes. Clinical Journal of Sport Medicine 1995; 5: 32-33
3. Jennett, B., Bond, M. Assessment of outcome after severe brain damage: a practical scale. Lancet 1975; i: 480-484
4. McCrea M. Standardized mental status testing of acute concussion. Clinical Journal of Sport Medicine. 2001; 11: 176-181
5. Guskiewicz KM. Assessment of postural stability following sport-related concussion. Current Sports Medicine Reports. 2003; 2: 24-30

Annexe 2 Echelle PEDro :

Échelle PEDro

1. les critères d'éligibilité ont été précisés	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement)	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
3. la répartition a respecté une assignation secrète	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
5. tous les sujets étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
8. les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
9. tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
11. pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:

L'échelle PEDro est basée sur la liste Delphi développée par Verhagen et ses collègues au département d'épidémiologie de l'Université de Maastricht (Verhagen AP et al (1998). *The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology, 51(12):1235-41*). Cette liste est basée sur un "consensus d'experts" et non, pour la majeure partie, sur des données empiriques. Deux items supplémentaires à la liste Delphi (critères 8 et 10 de l'échelle PEDro) ont été inclus dans l'échelle PEDro. Si plus de données empiriques apparaissent, il deviendra éventuellement possible de pondérer certains critères de manière à ce que le score de PEDro reflète l'importance de chacun des items.

L'objectif de l'échelle PEDro est d'aider l'utilisateur de la base de données PEDro à rapidement identifier quels sont les essais cliniques réellement ou potentiellement randomisés indexés dans PEDro (c'est-à-dire les essais contrôlés randomisés et les essais cliniques contrôlés, sans précision) qui sont susceptibles d'avoir une bonne validité interne (critères 2 à 9), et peuvent avoir suffisamment d'informations statistiques pour rendre leurs résultats interprétables (critères 10 à 11). Un critère supplémentaire (critère 1) qui est relatif à la validité "externe" (c'est "la généralisabilité" de l'essai ou son "applicabilité") a été retenu dans l'échelle PEDro pour prendre en compte toute la liste Delphi, mais ce critère n'est pas comptabilisé pour calculer le score PEDro cité sur le site Internet de PEDro.

L'échelle PEDro ne doit pas être utilisée pour mesurer la "validité" des conclusions d'une étude. En particulier, nous mettons en garde les utilisateurs de l'échelle PEDro sur le fait que les études qui montrent des effets significatifs du traitement et qui ont un score élevé sur l'échelle PEDro, ne signifie pas nécessairement que le traitement est cliniquement utile. Il faut considérer aussi si la taille de l'effet du traitement est suffisamment grande pour que cela vaille la peine cliniquement d'appliquer le traitement. De même, il faut évaluer si le rapport entre les effets positifs du traitement et ses effets négatifs est favorable. Enfin, la dimension coût/efficacité du traitement est à prendre compte pour effectuer un choix. L'échelle ne devrait pas être utilisée pour comparer la "qualité" des essais réalisés dans différents domaines de la physiothérapie, essentiellement parce qu'il n'est pas possible de satisfaire à tous les items de cette échelle dans certains domaines de la pratique kinésithérapique.

Dernière modification le 21 juin 1999. Traduction française le 1 juillet 2010

Précisions pour l'utilisation de l'échelle PEDro:

- Tous les critères **Les points sont attribués uniquement si le critère est clairement respecté.** Si, lors de la lecture de l'étude, on ne retrouve pas le critère explicitement rédigé, le point ne doit pas être attribué à ce critère.
- Critère 1 Ce critère est respecté si l'article décrit la source de recrutement des sujets et une liste de critères utilisée pour déterminer qui était éligible pour participer à l'étude.
- Critère 2 Une étude est considérée avoir utilisé une *répartition aléatoire* si l'article mentionne que la répartition entre les groupes a été faite au hasard. La méthode précise de répartition aléatoire n'a pas lieu d'être détaillée. Des procédures comme pile ou face ou le lancé de dés sont considérées comme des méthodes de répartition aléatoire. Les procédures quasi-aléatoires, telles que la répartition selon le numéro de dossier hospitalier ou la date de naissance, ou le fait de répartir alternativement les sujets dans les groupes, ne remplissent pas le critère.
- Critère 3 Une *assignation secrète* signifie que la personne qui a déterminé si un sujet répondait aux critères d'inclusion de l'étude ne devait pas, lorsque cette décision a été prise, savoir dans quel groupe le sujet serait admis. Un point est attribué pour ce critère, même s'il n'est pas précisé que l'assignation est secrète, lorsque l'article mentionne que la répartition a été réalisée par enveloppes opaques cachetées ou que la répartition a été réalisée par table de tirage au sort en contactant une personne à distance.
- Critère 4 Au minimum, lors d'études concernant des interventions thérapeutiques, l'article doit décrire au moins une mesure de la gravité de l'affection traitée et au moins une mesure (différente) sur l'un des critères de jugement essentiels en début d'étude. L'évaluateur de l'article doit s'assurer que les résultats des groupes n'ont pas de raison de différer de manière cliniquement significative du seul fait des différences observées au début de l'étude sur les variables pronostiques. Ce critère est respecté, même si les données au début de l'étude ne sont présentées que pour les sujets qui ont terminé l'étude.
- Critères 4, 7-11 Les *critères de jugement* essentiels sont ceux dont les résultats fournissent la principale mesure de l'efficacité (ou du manque d'efficacité) du traitement. Dans la plupart des études, plus d'une variable est utilisée pour mesurer les résultats.
- Critères 5-7 Être "*en aveugle*" signifie que la personne en question (sujet, thérapeute ou évaluateur) ne savait pas dans quel groupe le sujet avait été réparti. De plus, les sujets et les thérapeutes sont considérés être "*en aveugle*" uniquement s'il peut être attendu qu'ils ne sont pas à même de faire la distinction entre les traitements appliqués aux différents groupes. Dans les essais dans lesquels les critères de jugement essentiels sont autoévalués par le sujet (ex. échelle visuelle analogique, recueil journalier de la douleur), l'évaluateur est considéré être "*en aveugle*" si le sujet l'est aussi.
- Critère 8 Ce critère est respecté uniquement si l'article mentionne explicitement *à la fois* le nombre de sujets initialement répartis dans les groupes *et* le nombre de sujets auprès de qui les mesures ont été obtenues pour les critères de jugement essentiels. Pour les essais dans lesquels les résultats sont mesurés à plusieurs reprises dans le temps, un critère de jugement essentiel doit avoir été mesuré pour plus de 85% des sujets à l'une de ces reprises.
- Critère 9 Une *analyse en intention de traiter* signifie que, lorsque les sujets n'ont pas reçu le traitement (ou n'ont pas suivi l'intervention contrôle) qui leur avait été attribué, et lorsque leurs résultats sont disponibles, l'analyse est effectuée comme si les sujets avaient reçu le traitement (ou avaient suivi l'intervention contrôle) comme attribué. Ce critère est respecté, même sans mention d'une analyse en intention de traiter si l'article mentionne explicitement que tous les sujets ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle comme attribué.
- Critère 10 Une comparaison statistique *intergroupe* implique une comparaison statistique d'un groupe par rapport à un autre. Selon le plan expérimental de l'étude, cela peut impliquer la comparaison de deux traitements ou plus, ou la comparaison d'un traitement avec une intervention contrôle. L'analyse peut être une simple comparaison des résultats mesurés après administration des traitements, ou une comparaison du changement dans un groupe au changement dans un autre (quand une analyse factorielle de variance a été utilisée pour analyser les données, ceci est souvent indiqué sous la forme d'une interaction groupe x temps). La comparaison peut prendre la forme d'un test sous hypothèses (qui produit une valeur "p", décrivant la probabilité que les groupes diffèrent uniquement du fait du hasard) ou prendre la forme d'une estimation (par exemple: différence de moyennes ou de médianes, différence entre proportions, nombre nécessaire de sujets à traiter, risque relatif ou rapport de risque instantané dit "hazard ratio") et de son intervalle de confiance.
- Critère 11 Une *estimation de l'effet* est une mesure de la taille de l'effet du traitement. L'effet du traitement peut être décrit soit par une différence entre les groupes, soit par le résultat au sein (de chacun) de tous les groupes. Les *estimations de la variabilité* incluent les écarts-types, les erreurs standards, les intervalles de confiance, les intervalles interquartiles (ou autres quantiles) et les étendues. Les estimations de l'effet et/ou de la variabilité peuvent être fournies sous forme graphique (par exemple, les écarts-types peuvent être représentés sous forme de barres d'erreurs dans une figure) à la condition expresse que le graphique soit clairement légendé (par exemple, qu'il soit explicite que ces barres d'erreurs représentent des écarts-type ou des erreurs-standard). S'il s'agit de résultats classés par catégories, ce critère est considéré respecté si le nombre de sujets de chaque catégorie est précisé pour chacun des groupes.

Annexe 3 : exemple de représentation du Risk of bias tool :

Best 2007	+	+	-	+	+	+	+
Bossi 2004	+	?	-	-	+	+	?
Burger 2003	?	?	-	-	+	+	?
Clevenbergh 2002	+	+	-	-	-	+	-
Crommentuyn 2005	?	?	-	-	+	+	?
Fletcher 2002	+	+	-	-	+	+	?
Khoo 2006	+	?	-	-	+	-	-
Torti 2005	+	?	-	+	+	-	-
	Random sequence generation	Allocation concealment	Blinding of participants and personnel	Blinding of outcome assessment	Incomplete outcome data	Selective reporting	Other bias

Key

- ⊕ Low risk of bias
- ⊖ High risk of bias
- ⊛ Unclear risk of bias

Annexe 4 : Quality Assessment Tool for Case Series Studies

Criteria	Yes	No	Other (CD, NR, NA)*
1. Was the study question or objective clearly stated?			
2. Was the study population clearly and fully described, including a case definition?			
3. Were the cases consecutive?			
4. Were the subjects comparable?			
5. Was the intervention clearly described?			
6. Were the outcome measures clearly defined, valid, reliable, and implemented consistently across all study participants?			
7. Was the length of follow-up adequate?			
8. Were the statistical methods well-described?			
9. Were the results well-described?			

Annexe 5 : Quality Assessment Tool for Before-After Studies With No Control Group

Criteria	Yes	No	Other (CD, NR, NA)*
1. Was the study question or objective clearly stated?			
2. Were eligibility/selection criteria for the study population prespecified and clearly described?			
3. Were the participants in the study representative of those who would be eligible for the test/service/intervention in the general or clinical population of interest?			
4. Were all eligible participants that met the prespecified entry criteria enrolled?			
5. Was the sample size sufficiently large to provide confidence in the findings?			
6. Was the test/service/intervention clearly described and delivered consistently across the study population?			
7. Were the outcome measures prespecified, clearly defined, valid, reliable, and assessed consistently across all study participants?			
8. Were the people assessing the outcomes blinded to the participants' exposures/interventions?			
9. Was the loss to follow-up after baseline 20% or less? Were those lost to follow-up accounted for in the analysis?			
10. Did the statistical methods examine changes in outcome measures from before to after the intervention? Were statistical tests done that provided p values for the pre-to-post changes?			
11. Were outcome measures of interest taken multiple times before the intervention and multiple times after the intervention (i.e., did they use an interrupted time-series design)?			
12. If the intervention was conducted at a group level (e.g., a whole hospital, a community, etc.) did the statistical analysis take into account the use of individual-level data to determine effects at the group level?			