

**Programme de course à pied avec feedback visuel :
quel est l'intérêt sur le taux de mise en charge au sol
chez les coureurs adultes ?**

ROMAIN STREIT

Étudiant HES – Filière Physiothérapie

SOPHIE MAIRE

Étudiante HES – Filière Physiothérapie

Directrice de travail de Bachelor : SUZANNE GARD

**TRAVAIL DE BACHELOR DEPOSE ET SOUTENU A GENEVE EN 2019 EN VUE DE
L'OBTENTION D'UN
BACHELOR OF SCIENCE EN PHYSIOTHERAPIE**

Résumé

Introduction : La course à pied est pratiquée à travers le monde mais fait partie des dix sports avec la plus haute incidence de blessures. Le taux de mise en charge du pied au sol a été corrélé à une augmentation du risque de développer une fracture de stress tibiale ou à une récurrence. Ainsi, une approche consistant en un programme de course à pied avec feedback visuel pourrait être bénéfique afin de diminuer ce taux de mise en charge et donc de diminuer le risque de blessures chez les coureurs.

Objectif : Évaluer l'intérêt d'un programme de course à pied avec feedback visuel sur la diminution du taux de mise en charge (PPA, VILR, VALR) chez des coureurs adultes.

Méthode : Les recherches ont été effectuées sur les bases de données PubMed, PEDro, Cinhal, Embase et The Cochrane Library. Cinq études évaluant l'effet d'un programme de course à pied avec feedback visuel ont été sélectionnées dont deux études cliniques randomisées et trois études cliniques prospectives.

Résultats : Les cinq études montrent une diminution significative du taux de mise en charge à la suite du programme de course à pied. Les deux études cliniques randomisées montrent une différence significative entre les deux groupes. À un mois, trois études sur quatre montrent un maintien significatif de l'amélioration des valeurs. L'effet à douze mois a été évalué dans une seule étude qui montre un maintien de l'amélioration significative.

Conclusion : Notre travail montre qu'un programme de course à pied avec feedback visuel entraîne une diminution significative des composantes du taux de mise en charge. L'effet à un et à douze mois semble prometteur mais il manque de recherches afin de pouvoir certifier que la diminution du loading rate peut être maintenue et transposée à l'extérieur. Ainsi, cette nouvelle approche semble bénéfique mais aucun consensus sur un protocole précis est établi et nous pensons que davantage de recherches doivent être menées.

Mots-clés : Gait retraining, running retraining, visual feedback, loading rate, impact load, peak positive acceleration, running

Abstract

Introduction : Running is a physical activity commonly practiced around the world but is also in the top ten sports with the highest incidence of injuries. The impact loading of the foot on the ground has been correlated to an increased risk of developing tibial stress fractures or recurrences of these. Therefore, an approach consisting of a gait retraining program with visual feedback could be beneficial in reducing the impact loading rate and hence diminish the risk of running related injuries.

Objective : To evaluate the effect of a gait retraining program with visual feedback on decreasing the loading rate (PPA, VILR, VALR) on adult runners.

Method : Research has been carried out on databases such as PubMed, PEDro, Cinhal, Embase and The Cochrane Library. Five studies assessing the effects of a gait retraining program with visual feedback were selected including two randomized controlled trials and three prospective clinical studies.

Results : All five studies show a significant difference of the loading rate after the gait retraining program. The two randomized controlled trials show a significant difference between the two groups. At one month follow-up, three studies out of four show that the significant decrease of the loading rate is maintained. The effect at twelve months was assessed in one study and shows persistence of the improvement of the impact loading rate.

Conclusion : Our literature research shows that a gait retraining program with visual feedback leads to a significant decrease of the loading rate components (PPA, VILR, VALR). The effect at one and twelve months seems promising but there are still insufficient studies in order to guarantee that the decrease in loading rate can be maintained. Therefore, this new approach seems beneficial but no consensus on a precise protocol has yet been established. We think that further research has to be carried out.

Key words: Gait retraining, running retraining, visual feedback, loading rate, peak positive acceleration, running.

Avertissement

Les prises de position, la rédaction et les conclusions de ce travail n'engagent que la responsabilité de ses auteurs et en aucun cas celle de la Haute École de Santé de Genève, du Jury ou du Directeur du Travail de Bachelor.

Nous attestons avoir réalisé seul-e le présent travail, sans avoir utilisé d'autres sources que celles indiquées dans la liste de références bibliographiques

Genève, le 6 juin 2019

M. Romain Streit

Mme Sophie Maire

Remerciements

Nous souhaitons remercier les personnes suivantes pour leur soutien et leur précieuse aide pour la réalisation de ce travail.

Mme Suzanne Gard, enseignante à la Haute École de Santé de Genève et directrice de notre travail de Bachelor, pour nous avoir conseillé et guidé tout au long de ce travail.

Mme Aline Reinmann, assistante à la Haute École de Santé de Genève, pour sa précieuse aide et ses conseils.

M. François Fourchet, physiothérapeute à l'hôpital la Tour, pour son aide au début de notre projet afin de spécifier notre sujet.

M. Jean-David Sandoz, bibliothécaire à la Haute École de Santé de Genève, pour son aide lors de la recherche de nos articles.

Mmes Virginie Cuvelier, Simone Gafner, Lara Allet et Anne-Violette Bruyneel, enseignantes à la Haute École de Santé de Genève, pour leurs différentes remarques et conseils lors des différents séminaires.

Mmes Martine Streit, Michèle Rosselet, Margaux Streit et Sandra Rich-Raoul pour la relecture minutieuse de ce travail.

Liste des abréviations :

Baseline : Évaluation initiale, à la base de l'étude

Drop-out : Sujets ayant quittés l'étude avant la fin de cette dernière

F : Femmes

Follow-up : Durée du suivi des patients dans le temps

Gait retraining : Réentraînement de la démarche, nommé dans ce travail programme de course à pied avec feedback visuel

GRF : Ground reaction force, force de réaction du sol

H : Hommes

Loading rate / LR : Taux de mise en charge

m : Mètre

m/s : Mètre par seconde

Outcome : Variable d'intérêt

Post-control : Évaluation à la suite de la période contrôle

Post-intervention : Évaluation suite à l'intervention

PPA : Peak positive acceleration, pic d'accélération positive

RCT : Essai Clinique randomisé

TS : Tibial shock, choc tibial et synonyme de PPA

VALR : Vertical average loading rate, taux de charge vertical moyen

VGRF : Vertical ground reaction force, force de réaction verticale du sol

VILR : Vertical instantaneous loading rate, taux de charge vertical instantané

VIP : Vertical impact peak, pic d'impact vertical

Table des matières

Introduction.....	1
Cadre théorique.....	2
1) Types de pose du pied	2
2) Biomécanique de la course à pied	2
a. Phase d'absorption.....	3
b. Phase de propulsion	4
3) Le loading rate ou taux de mise en charge.....	4
4) Accéléromètre et PPA.....	6
5) Relation entre loading rate et blessures	7
6) La fracture de stress tibiale.....	7
a. Généralités.....	7
b. Physiopathologie	8
7) Le programme de course à pied avec feedback visuel	9
Problématique	10
Question de recherche	10
Méthodologie	11
1) Recherche d'articles.....	11
2) Sélection des articles	12
Critères d'inclusion :	12
3) Évaluation de la qualité des articles	12
4) Extraction des données.....	13
Résultats.....	13
1) Résultats de la recherche d'articles	13
2) Résultats de l'évaluation de la qualité.....	14
Évaluation qualitative des articles selon l'échelle McMaster.....	14
3) Description des articles retenus.....	15
a. Description des populations.....	15
b. Description des interventions	16
c. Description des outcomes utilisés	19
4) Résultats des outcomes	20
a. Pic d'accélération positive (PPA)	20
b. Taux de charge vertical moyen (VALR)	21
c. Taux de charge vertical instantané (VILR).....	22
Discussion	23
1) Interprétation de la qualité des articles.....	23
a. Selon les échelles.....	23
b. Présentation des résultats	24
2) Points forts, biais et limites des études	25
a. Population.....	25
b. Intervention	27
3) Outils de mesure.....	30

4)	Interprétation des résultats par outcomes	30
a.	PPA	31
b.	VALR et VILR.....	32
c.	Follow-up	32
5)	Limite de notre revue	33
6)	Confrontation avec la littérature	34
7)	Pistes de recherches futures.....	34
8)	Implication clinique	35
	Conclusion	36
	Bibliographie	38
	Annexes.....	I
1)	Annexe I : Équations de recherche pour les bases de données.....	I
2)	Annexe II : Fiches d’extractions de données par article	I
3)	Annexe III : Tableaux communs d’extractions de données	XII
a)	Intervention	XII
b)	Outcomes et outils de mesure	XIV
4)	Annexe IV : Échelles de qualités	XV
a)	PEDro.....	XV
b)	STROBE	XVI
c)	MCMaster	XVII
5)	Annexe V : Graphiques des résultats	XVIII
a)	PPA	XVIII
a)	VALR	XX
c)	VILR.....	XXII
6)	Annexe VI : Résultats des Follow-up.....	XXIV
a)	Follow-up à 1 mois pour les RCT	XXIV
b)	Follow-up à 1 mois pour les études clinique prospectives.....	XXIV
c)	Follow-up étude Bowser et al. (2018).....	XXV

Introduction

La course à pied est un phénomène populaire en pleine expansion depuis le début du siècle. Selon une étude de 2014, en Suisse 23.3% de la population pratiquait une forme de course à pied (Office fédéral du sport, 2017). Ce phénomène peut s'expliquer par les faibles coûts engendrés afin de pratiquer ce sport ainsi que la facilité d'accès à cette pratique. De plus, l'OMS préconisant 150 minutes d'activité physique par semaine, ce sport croît avec ses nombreux bénéfices sur la santé (Organisation mondiale de la Santé, 2019). L'activité physique a montré son efficacité sur la prévention primaire et secondaire des maladies cardio-vasculaires en luttant contre la sédentarité, l'obésité et le diabète (Rochcongar, 2007). De plus, certaines études ont montré l'intérêt de la pratique sportive dans la prise en charge des patients présentant un état dépressif (Ernst, Olson, Pinel, Lam & Chrisitie, 2006). La course à pied permet également d'améliorer la capacité mentale mais aussi la qualité du sommeil (Bompard, 2012, pp. 38-39). Malgré les effets bénéfiques indéniables sur la santé, le nombre de blessures liées à la pratique de la course à pied est considérable. En Suisse entre 2011 et 2015, il y a eu 13'210 blessures recensées dans cette activité physique ce qui place la course à pied dans les 10 sports avec l'incidence la plus élevée (Bureau de prévention des accidents [BPA], 2018). Il est intéressant de savoir que le risque de se blesser chez les coureurs est de 50% (Walter, Hart, McIntosh & Sutton, 1989). Les blessures surviennent majoritairement au niveau des membres inférieurs avec une prédominance au niveau inférieur de la jambe et de la cheville (47%), du genou (19.8%) et du pied (7.1%) (BPA, 2018). Le syndrome fémoro-patellaire, le syndrome de l'essuie-glace et les lésions de surcharge dont la fracture de stress tibiale sont les plus communes (Taunton et al., 2002).

Ainsi, la recherche de la technique de course idéale afin d'améliorer les performances et diminuer le risque de blessures est un sujet vaste en plein essor ces dernières années. La littérature est prolifique dans ce domaine, notamment afin de connaître l'intérêt des chaussures minimalistes ou la modification du type de pose du pied au sol. Nous avons pour objectif d'analyser un nouvel axe d'approche qui est un programme de course à pied avec feedback visuel. Ce dernier s'effectue sur un tapis roulant avec un matériel permettant de donner un feedback visuel sur la charge d'impact du pied au sol. L'objectif de ce programme étant de diminuer cet impact au sol.

En effet, une revue de littérature a démontré qu'une augmentation du loading rate entraîne une majoration du risque de développer une fracture de stress tibiale ou une récurrence de cette dernière (Van der Worp, Vrielink & Bredeweg, 2016).

L'objectif de ce travail est d'effectuer l'état des lieux de la littérature actuelle sur l'intérêt d'un programme de course à pied avec un feedback visuel sur la diminution du taux de mise en charge vertical ainsi que de la persistance du changement de nos outcomes dans le temps. Grâce à cette revue, nous pourrions dans un second temps établir une nouvelle prise en charge en matière de prévention des blessures et de diminution des récidives, notamment sur la fracture de stress tibiale. Ainsi, cela pourrait compléter notre prise en charge auprès des patients.

Cadre théorique

1) Types de pose du pied

La course à pied est un sport pouvant se pratiquer facilement de manière amateur mais également de manière professionnelle. Ainsi, nous allons définir un coureur récréatif comme une personne courant à raison d'une à plusieurs fois par semaine sans participer à des compétitions régulières.

Il existe différentes techniques de course. En effet, lors de la pose du pied au sol, le coureur peut poser le pied de trois manières différentes : avec le talon, avec l'avant-pied ou avec le pied à plat.

Classiquement, 80% des coureurs attaquent le pied avec le talon lors d'un jogging ou une course de distance (Novacheck, 1998). Lors d'un sprint, la majorité des athlètes attaquent le pied par l'avant-pied (Brukner & Khan, 2017, pp. 94-95).

Nous avons choisi de parler d'un coureur avec une pose du pied au sol avec le talon. La raison de ce choix s'explique par le fait que notre travail concerne des coureurs pratiquant le jogging ou les courses de distance et donc avec une majorité de participants attaquant le pied avec le talon (Novacheck, 1998).

2) Biomécanique de la course à pied

La course à pied fonctionne selon un cycle. Ainsi nous pouvons définir un cycle comme l'intervalle entre deux attaques du talon d'un même pied (Leboeuf et al., 2006). La course à pied peut se distinguer de la marche par une phase de vol, c'est-à-dire lorsqu'aucun des pieds ne touche le sol.

Le cycle de course comprend deux phases. La phase du pied en vol et la phase du pied au sol aussi appelée phase d'appui. Chacune de ces deux phases va se subdiviser en

différentes étapes. La phase d'appui du pied au sol correspond à environ 35% du cycle de course à pied contre 62% du cycle lors de la marche. (Mann & Hagy, 1980).

Nous souhaitons détailler uniquement la phase d'appui, car c'est lors de cette dernière qu'intervient le taux de mise en charge. Ainsi, la phase de pied au sol peut se subdiviser en trois étapes majeures : le contact initial, le soutien (midstance) et le décolllement des orteils.

Le contact initial se définit par le moment où le talon touche le sol. L'étape de soutien est caractérisée par l'intervalle de temps durant lequel le pied se pose progressivement à plat au sol jusqu'à ce que le talon se soulève. La phase du pied au sol se termine par l'étape du décolllement des orteils du sol (Dugan & Bhat, 2005).

De ces différentes étapes découlent deux phases différentes qu'il est important de développer : une période d'absorption et une période de propulsion :

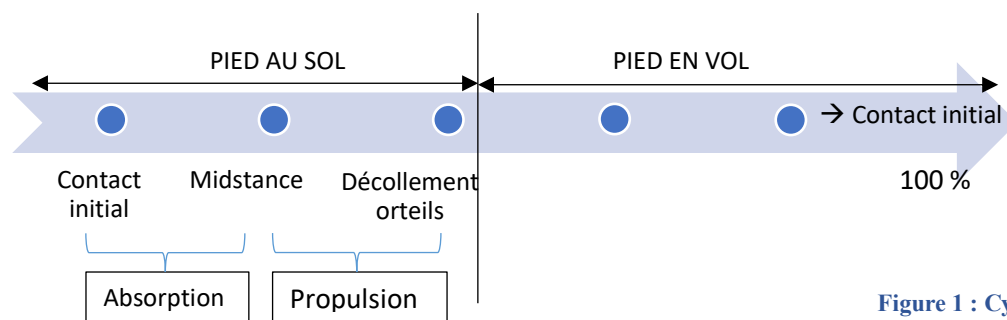


Figure 1 : Cycle de course
Adapté de Dugan et Bhat, 2005

a. Phase d'absorption

Cette phase se déroule entre le contact initial et le midstance (Brukner & Khan, 2017, pp 90-91). Le midstance effectuant la transition entre la phase d'absorption et la phase de propulsion.

Cette phase est essentielle, car le coureur doit absorber le choc entre son membre inférieur et le sol afin de pouvoir être performant (Brukner & Khan, 2017, pp. 90-91). Une bonne absorption du choc se fait grâce à plusieurs composantes biomécaniques, à savoir les positions articulaires, le travail excentrique des membres inférieurs et la compression des cartilages articulaires (Dugan & Bhat, 2005).

Concernant les positions articulaires, le pied effectue une flexion dorsale qui sera maximale au milieu de la phase d'appui. Le genou va se retrouver dans une position de légère flexion (25°) lors du contact initial avec un travail excentrique du quadriceps dès la pose du talon au sol. Ceci permet de dissiper la force de réaction du sol (GRF) et donc de diminuer la force du choc (Brukner & Khan, 2017, pp. 90-91). La hanche débute le

contact initial dans une position de flexion et va progressivement passer vers une position d'extension et de rotation externe. De plus, l'activité musculaire des adducteurs et abducteurs de hanche est essentielle à la stabilité du membre inférieur durant l'intégralité de la phase du pied au sol (Dugan & Bhat, 2005).

b. Phase de propulsion

Cette phase se termine lorsque les orteils décollent du sol, ce qui marque le début de la phase de vol.

La cheville est en flexion dorsale maximale lorsque le talon se décolle du sol et cette dernière va passer en position de flexion plantaire par une action concentrique du triceps sural. Cette flexion plantaire initie la phase de propulsion en permettant d'accélérer la jambe au sol (Dugan & Bhat, 2005).

La hanche va passer vers une position d'extension maximale et de rotation externe par l'action des extenseurs de hanche en concentrique (Brukner & Khan, 2017, pp. 91-93). Le genou va passer dans une position d'extension avec une contraction concentrique du quadriceps juste avant le décolllement des orteils afin de maximiser la propulsion (Dugan & Bhat, 2005). Par la suite, il passera vers une position de flexion au début de la phase de vol par l'action concentrique des ischios-jambiers.

3) Le loading rate ou taux de mise en charge

Dans ce chapitre, nous allons parler de la phase du pied au sol. Afin de comprendre comment il est possible de déterminer le taux de mise en charge vertical chez un coureur (loading rate), il est important d'assimiler le concept de la plateforme de force. La plateforme de force mesure la force de réaction du sol (GRF) grâce à la troisième loi de Newton qui stipule que tout corps exerçant une force sur un second corps subit une force de réaction exercée par le second corps d'intensité égale, de même direction mais de sens opposé (Grimshaw & Burden, 2010, p. 381). A chaque phase d'appui le pied exerce une certaine force sur le sol qui est contrée par le sol avec la GRF, qui est une force égale et de sens contraire. La GRF représente la somme de l'accélération de tous les segments du corps et permet d'apprécier l'accélération du centre de gravité du corps. La GRF a trois principales composantes : une verticale et deux horizontales. La composante verticale (VGRF) qui est celle avec la plus grande amplitude est celle que nous allons étudier.

La plateforme de force est composée de capteurs qui se déforment lorsqu'une force est appliquée sur ces derniers. Ces capteurs se déforment et émettent un signal électrique proportionnel à la quantité de force reçue (Grimshaw & Burden, 2010, p.382). Grâce à la relation entre la force reçue et l'intensité du signal électrique envoyée par la plateforme, il est possible de convertir l'unité du signal électrique en Newton de la force (Grimshaw & Burden, 2010, p.382).

La force verticale de réaction du sol varie dans le temps lors de la phase d'appui.

L'impact peak (VIP), ou le pic d'impact représente l'amplitude maximale de la force infligée au pied lorsque le talon touche le sol, c'est-à-dire lors du premier choc. Ce dernier est également appelé pic d'impact passif, car c'est uniquement la résultante du choc entre le talon et le sol (Zadpoor & Nikooyan, 2011).

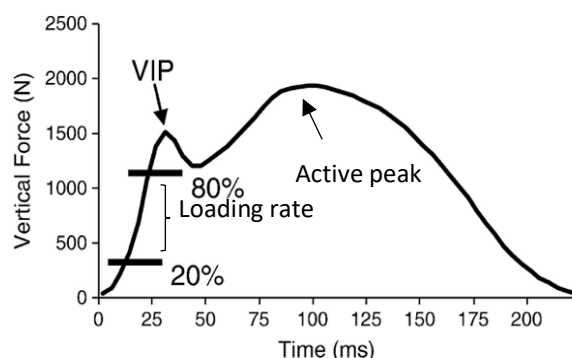


Figure 2 : Force de réaction du sol verticale
Adapté de Crowell et Davis, 2011

Survient ensuite l'active peak ou pic actif lorsque la phase de propulsion commence. Celui-ci est plus élevé que le pic d'impact, car il y a une activité concentrique des muscles afin de propulser le pied hors du sol, ce qui augmente la force de contact du pied avec le sol. (Novacheck, 1998)

Lorsque le pic d'impact est atteint, la VGRF peut atteindre jusqu'à 2.2 fois le poids corporel (Dugan & Bhat, 2005). De même, le pic actif peut atteindre jusqu'à 2.8 fois le poids corporel grâce au phénomène de propulsion du corps vers l'avant (Dugan & Bhat, 2005). La VGRF va être modifiée par la vitesse de course, la vélocité verticale du coureur ainsi que par le poids du corps (Grimshaw & Burden, 2010, p.304).

De l'analyse de la GRF découle la compréhension du vertical loading rate. Ce taux de mise en charge est défini par la vitesse à laquelle la force d'impact est appliquée sur le pied. Le loading rate donne donc une information sur la vitesse à laquelle la VGRF atteint le pic d'impact (Zadpoor & Nikooyan, 2011). Elle permet d'extrapoler la capacité d'amortissement du coureur. Elle est calculée comme la pente de la courbe entre le contact initial et le pic d'impact. Plus la pente est verticale, moins l'absorption du choc est optimale. Ce loading rate peut se différencier en plusieurs composants : le taux de charge vertical moyen (VALR) et le taux de charge vertical instantané (VILR). Le VALR correspond en pratique à la moyenne de la pente entre 20 et 80% de la courbe se situant

entre le contact initial et le pic d'impact (Crowell, Milner, Hamill & Davis, 2010). Le VILR est le maximum de la pente entre ces mêmes pourcentages (Crowell et al., 2010). L'intervalle de 20 à 80% a été décrit, car c'est la portion de la courbe initiale la plus linéaire (Milner, Ferber, Pollard, Hamill & Davis, 2006).

4) *Accéléromètre et PPA*

Durant la phase d'appui, l'accélération du tibia se fait dans les trois dimensions : axiale, antéro-postérieure et médio-latérale (Sheerin, Reid & Besier, 2019). Il est possible de calculer cette accélération grâce à un accéléromètre. Son placement est majoritairement proposé au niveau distal du tibia, sur la partie antéro-médiale (Sheerin, Reid & Besier, 2019).

Grâce à ce dispositif, il est possible de mesurer le pic d'accélération tibiale qui est également appelé pic positif d'accélération (PPA) ou encore le choc tibial (Milner et al., 2006). Cette PPA est définie comme l'accélération la plus élevée durant la phase du pied au sol (Milner et al., 2006).

Cette variable nous donne des informations sur la force exercée au sol grâce à la seconde loi de Newton ($F = m \cdot a$) et donc sur le taux de charge que le coureur impose à son corps à chaque phase de pied au sol. En effet, la corrélation entre la PPA, le loading rate et le pic d'impact a préalablement été mise en évidence (Sheerin, Reid & Besier, 2019).

Une revue de 2019, propose des éléments clés dans l'utilisation de l'accéléromètre et de la PPA (Sheerin, Reid & Besier, 2019). Premièrement, il est essentiel de définir une fréquence d'enregistrement des données entre 300 et 1000 Hz afin de pouvoir proposer une interprétation correcte des résultats. La fréquence d'échantillonnage (d'enregistrement) correspond au nombre de mesures récoltées par seconde et s'exprime en Hertz. Deuxièmement, le signal doit être filtré. Le choix du filtrage du signal est essentiel, car lors de la course à pied, l'accéléromètre va capter le mouvement mais également certaines interférences comme le bruit. Si le filtrage est mal choisi, les résultats recueillis seront interprétés de manière erronée et non précise.

Des facteurs vont modifier la mesure de la PPA via l'accéléromètre, notamment la vitesse de course qui va augmenter la PPA ainsi que la cadence et la longueur de foulée (Sheerin, Reid & Besier, 2019). La fatigue a également été mise en lien avec une modification de la PPA (Sheerin, Reid & Besier, 2019).

5) Relation entre loading rate et blessures

Les blessures survenant au niveau des membres inférieurs chez les coureurs sont souvent regroupées dans la littérature sous le terme de « running related injury » (RRI).

De ces différentes RRI, une corrélation a été démontrée entre le taux de mise en charge et le risque de fracture de stress tibiale. Une revue de 2016 montre que le taux de mise en charge est plus important chez des coureurs avec un historique de fracture de stress tibiale que chez les coureurs sans antécédent. (Van der Worp et al., 2016).

Une diminution de ce loading rate peut donc diminuer le risque de fracture de stress tibiale (Van der Worp et al., 2016). L'intérêt d'une intervention permettant de diminuer cette variable est donc essentiel en matière de prévention primaire mais également secondaire afin d'éviter le risque de récurrences.

Concernant l'implication du loading rate pour d'autres pathologies comme le syndrome fémoro-patellaire ou les tendinopathies, la littérature est moins claire. En effet, une revue de 2016 explique qu'il est difficile de tirer des conclusions quant à l'implication du taux de mise en charge dans toute autre RRI (Van der Worp et al., 2016).

Des composantes de la GRF, seul le loading rate, comprenant le VALR et le VILR ont été reconnus spécifiquement significatifs par la littérature (Zadpoor & Nikooyan, 2011). Nous savons également que la PPA est corrélée à ce vertical loading rate (Sheerin, Reid & Besier, 2019). Selon Milner et al., (2006), les personnes ayant une PPA supérieure à 8g sont plus soumises à la fracture de stress tibiale et donc considérée comme facteur de risque.

De ce fait, nous allons développer uniquement la problématique de la fracture de stress tibiale, car c'est la seule blessure qui a été significativement corrélée au taux de charge et donc à la PPA dans la littérature.

6) La fracture de stress tibiale

a. Généralités

Une fracture de fatigue est également appelée une fracture de contrainte ou encore une fracture de stress.

Selon Saunier et Chapurlat (2018), une fracture de fatigue est « une lésion par hypersollicitation qui survient (...), par suite d'une charge anormale sur un tissu osseux sain entraînant des microlésions, puis une fracture. ». Ainsi, ce type de fracture ne survient pas lors d'un traumatisme unique.

Les fractures de stress sont fréquentes chez les athlètes pratiquant les sports d'endurance ou avec de forts impacts comme la course à pied. En effet, 16% des blessures chez les coureurs sont des fractures de stress (Kahanov, Eberman, Games & Wasik, 2015). Cette pathologie survient dans 80% des cas au niveau des membres inférieurs (Kahanov et al., 2015).

Chez les coureurs, la partie postéro-médiale du tibia est la localisation préférentielle pour ces fractures avec une incidence de 23.6%. Les autres localisations sont le naviculaire (17.6%), les métatarses, le fémur et le bassin (Kahanov et al., 2015).

Nous pouvons séparer les facteurs de risque de développer une fracture de stress en facteurs extrinsèques et intrinsèques. Dans la catégorie des facteurs extrinsèques, une augmentation brutale de l'intensité de l'effort ou un surentraînement sont décrits (Brukner & Khan, 2017, pp. 836-838). Une modification de la surface de sol est également décrite ainsi que l'équipement du sportif, comme les chaussures. Les personnes ayant un historique de blessures ont également un risque plus élevé de développer une fracture de stress (Hulme, Nielson, Timpka, Verhagen & Finch, 2017).

Concernant les facteurs intrinsèques, seule la biomécanique de l'individu est décrite de manière unanime dans la littérature actuelle. Ceci comprenant une pronation excessive du pied lors de la phase du pied au sol (Saunier & Chapurlat, 2018) ou encore un loading rate élevé (Van der Worp et al., 2016). Le sexe féminin ainsi qu'un manque de calcium et de vitamine D sont souvent décrits comme facteurs favorisant mais les avis sont partagés.

b. Physiopathologie

Lors de l'impact du pied au sol chez un coureur, une certaine contrainte est soumise à l'os et ce dernier peut légèrement se déformer afin de l'absorber. La création de microfissures se déroule lorsqu'il y a une surcharge sur cet os, c'est-à-dire lorsque les contraintes répétées dépassent la limite d'élasticité osseuse (Saunier & Chapurlat, 2018). De ce phénomène découle la fracture de stress, car comme l'énonce Saunier et Chapurlat (2018), « l'accumulation de microfissures provoque des lésions diffuses puis une fracture ».

L'os est en perpétuel remodelage, grâce à l'activité des ostéoblastes et des ostéoclastes. Ces derniers permettent de dégrader une partie de la structure osseuse pour en recréer une nouvelle. Nous savons que les impacts lors de la pratique sportive et donc les contraintes et les microfissures stimulent ce phénomène de remodelage osseux afin de réparer les

lésions (Saunier & Chapurlat, 2018). Il a été démontré que ce remodelage affaiblit temporairement l'os, car il augmente la porosité de l'os et diminue son élasticité (Hughes, Popp, Yanovich, Bouxsein & Matheny, 2017). Lorsque les contraintes sont maintenues durant cette période de remodelage, l'os se dégrade et donne naissance à une fracture de fatigue. Il y a donc une incapacité des ostéoblastes à reformer à temps de l'os suite aux contraintes répétitives. Survient alors un déséquilibre entre formation et résorption osseuse.

7) Le programme de course à pied avec feedback visuel

Ce programme est souvent retrouvé dans la littérature sous le terme de gait retraining. Afin d'être plus clair, nous avons choisi d'employer le terme de programme de course à pied avec feedback visuel.

Cette technique, dans le cadre de la course à pied, propose différents moyens de feedback. Les coureurs effectuent le programme de course à pied sur un tapis roulant et un feedback est donné en temps réel soit de manière visuelle, c'est-à-dire sur un écran en face du coureur, soit de manière auditive, c'est-à-dire via un haut-parleur indiquant si les valeurs ciblées sont atteintes. Il existe également une méthode de feedback combinée (visuel et auditive) ou encore par l'intermédiaire d'un thérapeute. Nous souhaitons nous intéresser au feedback visuel. Pour donner un feedback, une plateforme de force est soit intégrée au tapis, soit au sol pour permettre d'obtenir les valeurs de la VGRF. De plus, un accéléromètre est installé au niveau distal du tibia des coureurs afin de nous informer en tout temps sur la PPA. Dans nos articles, le feedback donne dans certains cas la PPA et dans d'autres la VGRF, le but étant de diminuer les valeurs lors de la séance et donc de diminuer le loading rate.

Le programme de course à pied fonctionne souvent avec le concept d'apprentissage moteur (Bowser, Fellin, Milner, Pohl & Davis, 2018). Pour qu'un nouveau style de course soit intégré par le sportif, le programme de course à pied se déroule en deux phases. Premièrement, il faut offrir au sportif un feedback extrinsèque, dans notre cas un feedback visuel. Dans un second temps, l'objectif est de progressivement supprimer ce feedback lors des séances de courses afin que l'athlète réalise la même modification de son style de course sans feedback visuel. Ceci fait donc intervenir le feedback intrinsèque du coureur et permet d'améliorer l'intégration d'un nouveau schéma moteur (Winstein, 1991). Grâce à cette approche, il se peut que l'effet du programme persiste dans le temps (Bowser et al., 2018).

Problématique

En tant que thérapeute, la prise en charge en matière de prévention des blessures liées à la course à pied est un enjeu crucial au vu de l'augmentation du nombre de coureurs. De plus, la prévention primaire et secondaire est en plein essor au sein de la profession de physiothérapie. La majorité des coureurs que nous allons traiter sont dits récréatifs et attaquent le pied au sol par le talon lorsqu'ils pratiquent un jogging ou une course de distance (Novacheck, 1998). Il nous semble donc important d'aborder un axe d'approche pouvant agir sur la prévention et ainsi pouvoir traiter nos patients avec cette nouvelle stratégie en plus de les conseiller sur la manière et l'intérêt de diminuer le taux de mise en charge.

Comme énoncé lors de l'introduction, une augmentation du taux de mise en charge vertical est corrélée à une augmentation du risque de fracture de stress tibiale ainsi qu'une récurrence de cette dernière (Van der Worp et al., 2016). Divers traitements comme la modification du type de chaussage ou la modification du type de pose du pied au sol sont proposés pour diminuer cet outcome. Nous avons voulu effectuer des recherches dans le but d'analyser une nouvelle méthode d'intervention qui est un programme de course à pied avec feedback visuel chez les coureurs. De plus, nous souhaitons analyser si le changement de nos outcomes est maintenu dans le temps. Notre motivation réside dans l'absence de récentes revues de littérature exprimant l'intérêt d'un programme de course à pied avec feedback visuel sur la diminution du taux de charge vertical. Cette technique semble prometteuse et faisable dans plusieurs institutions suisses.

Question de recherche

Quel est l'effet d'un programme de course à pied incluant un feedback visuel en temps réel chez des coureurs adultes sur la charge d'impact au sol ?

Voici notre PICO modifié :

P = Coureurs adultes

I = Programme de course à pied avec feedback visuel donné sur écran

(C = Programme de course à pied sans feedback visuel)

O = Taux de charge vertical moyen et instantané (VALR, VILR), Pic d'accélération positif (PPA)

Notre premier objectif est d'étudier l'effet d'un programme de course à pied avec feedback visuel sur la diminution des composantes du taux de mise en charge et par déduction sur la diminution du risque de fracture de stress tibiale chez les coureurs.

Secondairement, nous souhaitons savoir si cette modification du loading rate peut perdurer à court, moyen et long terme afin de connaître l'acquisition d'un nouveau schéma de course.

Méthodologie

Les étapes que nous allons décrire ci-dessous ont été effectuées chacun de notre côté avant de mettre en commun les informations recueillies afin d'en discuter et trouver un accord commun.

1) Recherche d'articles

Nous avons commencé par sélectionner les différentes bases de données afin de rechercher nos articles. Notre sélection s'est portée sur *Medline via Pubmed, Embase, PEDro ainsi que Cinahl (et the Cochrane Library)*. Nous avons souhaité être le plus exhaustif possible.

Nous avons ensuite construit nos équations de recherches en fonction des différentes bases de données [Annexe I]. Nous avons sélectionné des mots clés que nous avons traduits en thesaurus MeSH Terms. Afin d'élargir les résultats, nous n'avons pas uniquement utilisé des mots clés recensés dans les Thesaurus. Nous avons également fait attention de reprendre les mêmes mots clés entre les différentes bases de données afin de maintenir une cohérence dans notre recherche.

Notre stratégie de recherche s'est articulée autour de trois axes : La course à pied, le taux de mise en charge et le programme de course à pied avec feedback visuel.

Une fois nos mots clés sélectionnés, nous les avons reliés grâce aux opérateurs booléens. Tous les termes correspondant à un même axe ont été reliés par l'opérateur « OR ». Pour finir, afin de relier les différents axes, nous avons utilisé l'opérateur « AND ».

Une fois nos équations de recherches créées, nous avons mis en place un programme afin de vérifier la parution de nouveaux articles sur notre sujet.

Nous avons également effectué des recherches d'articles au travers de revues, de livres ou encore de bibliographies.

La période de recherche d'articles s'est étendue de mars 2018 à février 2019. Si de nouveaux articles plus récents venaient à être publiés après cette période, ils ne seraient pas inclus dans cette analyse mais discutés lors de la soutenance.

2) Sélection des articles

Nous nous sommes consacrés à la recherche d'articles quantitatifs. Après discussion, nous avons choisi de ne pas cibler de design d'étude, car ce sujet étant spécifique, il existe peu d'articles. Nous avons ensuite créé les critères d'inclusion et d'exclusion pour notre travail.

Critères d'inclusion :

Les premiers critères d'inclusion que nous avons créés pour la lecture des titres étaient : une rédaction en anglais ou français, d'avoir une population pratiquant la course à pied, d'avoir une intervention de programme de course à pied avec feedback visuel, d'avoir l'abstract disponible sur internet et d'être une RCT ou une étude clinique prospective.

Les deuxièmes critères d'inclusion pour la lecture des abstracts étaient notamment de mesurer les composants du taux de charge vertical (VALR/VILR) et de ceux de la PPA, d'avoir une population adulte, d'avoir un temps d'intervention sur deux à trois semaines et d'avoir un feedback visuel. Les critères pour la lecture complète des articles étaient d'avoir une clarté dans les graphiques et les résultats, que la population soit sans blessures au moment de l'étude et courant minimum huit kilomètres par semaine. Enfin nous avons ciblé des participants avec une PPA initiale supérieure à 8g ou une VALR initiale supérieure à 70 BW.

Lorsque ces critères n'étaient pas remplis, l'article était de ce fait exclu.

3) Évaluation de la qualité des articles

Nous avons décidé d'évaluer la qualité de nos articles afin de savoir si la validité interne était acceptable ou non. Afin d'y parvenir, nous avons utilisé trois échelles différentes. PEDro, STROBE et pour finir, nous avons utilisé la grille d'évaluation McMaster.

Afin d'être plus précis, nous avons rempli séparément les différentes grilles d'analyse de qualité avant de mettre en commun nos résultats afin d'effectuer une grille finale pour chaque article.

L'échelle PEDro a permis de donner un score chiffré sur la qualité méthodologique de nos études RCT.

La checklist STROBE permet de regarder en détail les éléments des études cliniques prospectives. Elle nous donne un regard complet sur la qualité de ces articles.

Nous avons trouvé utile d'évaluer tous nos designs d'études avec une échelle le permettant ; McMaster. Cette grille nous permet de comparer les études différentes entre elles et de voir la cohérence avec les échelles spécifiques utilisées antérieurement.

4) *Extraction des données*

Afin d'avoir une vision claire et globale des articles sélectionnés nous avons créé des fiches d'extraction de données pour chaque article [Annexe II]. Les informations sélectionnées pour ce tableau sont : le titre, les auteurs, l'année de parution, le type d'étude, les objectifs, la population, l'intervention, les outcomes et la conclusion.

Nous avons ensuite regroupé dans des tableaux communs aux cinq articles les informations concernant les populations, les interventions, les outcomes et les outils de mesure [Annexe III].

Résultats

1) *Résultats de la recherche d'articles*

Nous avons pu inclure cinq articles pour notre revue de la littérature.

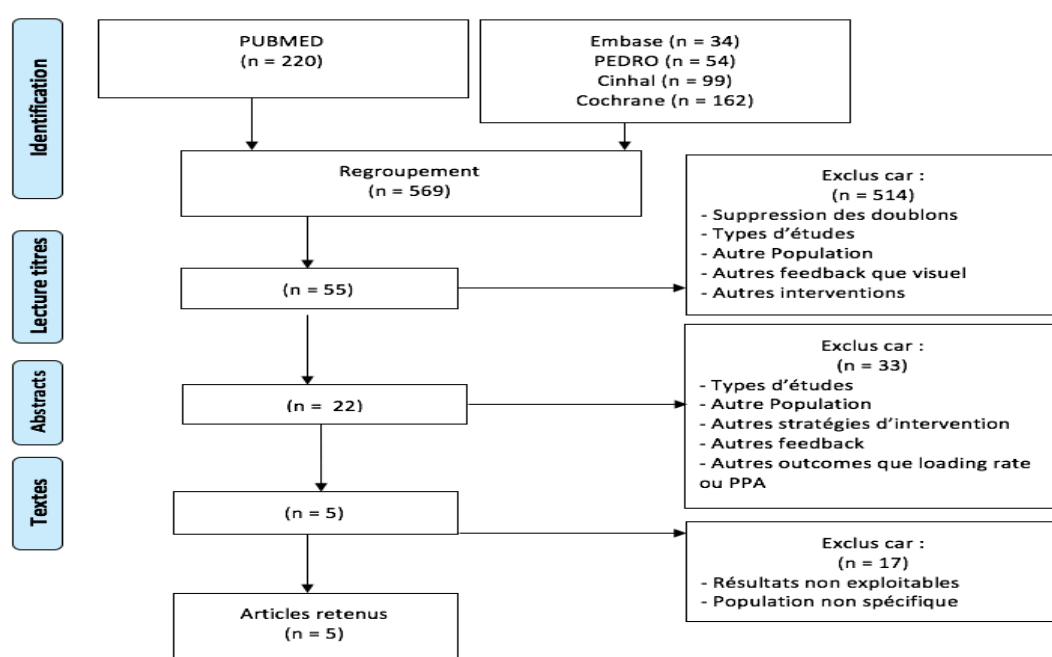


Figure 3 : Flowchart adapté de Prisma (référence en bibliographie)

2) Résultats de l'évaluation de la qualité

Comme énoncé dans le paragraphe évaluation de la qualité des articles, nous avons utilisé trois échelles différentes ; PEDro, STROBE et McMaster. Les résultats détaillés pour chaque échelle, item par item, se trouvent en annexe [Annexe IV].

Nous souhaitons parler spécifiquement de l'échelle McMaster, car c'est la seule échelle permettant de comparer les cinq articles. Toutefois pour l'échelle PEDro les articles évalués étaient celui de Clansey et al. (2014) ainsi que celui de Chan et al. (2018) qui ont obtenu les scores de 5/10 et de 6/10 respectivement. Concernant l'échelle STROBE elle ne nous permet pas d'obtenir un score chiffré, toutefois, en regardant le nombre de réponses « oui », de réponses « non » et de réponses « moyennement » concluantes en fonction des catégories, nous constatons qu'une étude sort du lot quant à la qualité : celle de Bowser et al. (2018).

Évaluation qualitative des articles selon l'échelle McMaster

L'échelle McMaster sépare l'article en différentes parties comme par exemple les interventions, les résultats, les outcomes ou encore le design d'étude. Grâce à un guideline exhaustif, chaque partie de l'échelle est clairement expliquée ce qui permet d'être cohérent.

Concernant les résultats, l'échelle n'attribue pas un score. De ce fait, nous avons procédé au comptage des items répondant soit « oui », « non », « non adressé » et « non applicable ». Le nombre total de points est de quatorze.

Résultats McMaster				
Article	Oui (/14)	Non (/14)	Non adressé (/14)	Non applicable (/14)
Chan et al. (2018) RCT	11	1	2	0
Cheung et al. (2018) Prospective	9	2	1	2
Clansey et al. (2014) RCT	10	3	1	0
Bowser et al. (2018) Prospective	11	2	0	1
Crowell & Davis (2011) Prospective	10	2	0	2

Deux études ont un score meilleur ; Chan et al. (2018) et Bowser et al. (2018) avec tous les deux onze points « oui » sur quatorze. Après ces deux études, celles de Clansey et al.

(2014) et Crowell & Davis, (2011) obtiennent un score de dix « oui » sur quatorze. Finalement, l'étude la moins bien cotée au niveau de la qualité est celle de Cheung et al. (2018). Les études perdent souvent des points sur les méthodes statistiques choisies, les drop-outs qui ne sont pas toujours mentionnés ainsi que l'importance clinique qui est relativement peu développée dans ces études.

3) Description des articles retenus

Les informations détaillées sont dans les fiches d'extractions effectuées pour chaque article [Annexe II]. Les tableaux comparatifs entre les articles pour l'intervention et les outcomes sont en annexe [Annexe III].

a. Description des populations

Dans le tableau ci-dessous, nous avons regroupé les caractéristiques essentielles entre nos différents articles :

Tableau 1 : Populations

	N	Masse (Kg) / Taille (m)	Sexe/Age (ans)	Inclusion
Chan et al. (2018) RCT	320	I : 60.0 ± 12.6 C : 61.6 ± 12.0 I : 1.66 ± 0.09 C : 1.65 ± 0.09	158 H, 162 F I : 33.6 ± 9.5 C : 34.2 ± 9.5	- < 2 ans de pratique de course à pied - > 8 km/semaine - Age entre 18 et 50 ans - VALR > 70 BW/s - Pas de blessures les 6 derniers mois
Cheung et al. (2018)	16	60.47 ± 8.75 1.68 ± 0.08	11 H, 5 F 28.3 ± 6.2	- > 15 km/semaine - Coureurs récréatifs - PPA > 10g - Pas de blessures au début de l'étude
Clansey et al. (2014) RCT	22	77.2 ± 11.0 I + C : 1.80 ± 0.1	H I : 33.3 ± 9.0 C : 33.9 ± 11.3	- Au moins 30km /semaine - Attaque du pied par le talon - Coureurs récréatifs - PPA > 9g - Pas de blessures les derniers 6 mois
Browser et al. (2018)	19	76.6 ± 14.2 1.75 ± 0.1	9 H, 10 F 26 ± 7.6	- > 8 Miles/semaine - Attaque du pied par le talon - PPA > 8g - Pas de blessures au début de l'étude
Crowell & Davis (2011)	10	81.5 ± 21 1.72 ± 0.07	4 H, 6 F 26 ± 7	- > 16 km/semaine - Attaque du pied par le talon - Coureurs récréatifs - PPA > 8g - Pas de blessures au début de l'étude

L'étude de Chan et al. (2018) a réuni un total de 320 coureurs. Nos quatre autres études ont un échantillon de personnes incluses relativement petit, à savoir entre 10 et 22 coureurs. Cependant, l'étude de Bowser et al. (2018) ainsi que celle de Crowell & Davis (2011) ont effectué une analyse de puissance déterminant le nombre de coureurs nécessaire afin de montrer un effet.

Les moyennes d'âge sont similaires entre nos études à savoir entre 26 et 33.3 ans.

L'étude de Clansey et al. (2014) est la seule à inclure uniquement des hommes. Les cinq études recrutent des coureurs sans blessures, dont l'étude de Chan et al. (2018) et celle de Clansey et al. (2014) qui indiquent qu'il est nécessaire que les coureurs n'aient pas eu de blessures les 6 derniers mois. Cheung et al. (2018), Crowell & Davis (2011) ainsi que Clansey et al. (2014) précisent que les coureurs doivent être récréatifs mais également d'avoir une attaque du pied par le talon comme pour Bowser et al. (2018). Seule l'étude de Chan et al. (2018) propose une sélection grâce à la VALR avec une valeur supérieure à 70 BW/s nécessaire. Les quatre autres études indiquent des valeurs minimales de PPA nécessaires afin d'être incluses. Ces valeurs sont entre 8 et 10g. Le critère d'inclusion lié aux distances de course à pied effectuées par semaine varie entre les études avec un minimum de huit et un maximum de 30 kilomètres. Clansey et al (2014) ainsi que de Cheung et al. (2018) proposent des critères d'exclusion précis comme des problèmes neurologiques ou des antécédents chirurgicaux au niveau des membres inférieurs.

b. Description des interventions

Nos cinq études proposent un programme de course à pied sur tapis roulant avec feedback visuel. L'intégralité des études sélectionnées commencent par effectuer un « screening » initial afin de déterminer les critères d'inclusion. Chacune de nos cinq études précise le modèle d'accéléromètre, de plateforme de force mais les articles de Clansey et al. (2014) et celui de Crowell & Davis (2011) ne donnent pas le modèle de tapis roulant contrairement aux autres.

Nous allons développer les différents points abordés dans la méthode de nos études afin d'évaluer la comparabilité de nos articles :

Tests : Nous retrouvons pour nos cinq études un test initial que nous allons appeler « baseline ». Ce test baseline est effectué avant de proposer le programme de course à pied et consiste en une analyse de course à pied afin de recenser les outcomes initiaux. Pour l'étude de Bowser et al. (2018), celle de Crowell & Davis (2011) et celle de Clansey

et al. (2014), cette analyse s'effectue au sol. Un accéléromètre est placé au niveau antéro-médial distal du tibia et une plateforme de force est intégrée au sol pour le test afin que les coureurs la traverse durant les essais. Les coureurs de l'étude de Clansey et al. (2014) doivent effectuer six essais à vitesse de 3.7 m/s sur une distance de 15 mètres tandis que pour Bowser et al. (2018) l'accéléromètre est placé sur la jambe droite puis la jambe gauche et il est demandé cinq essais par jambe sur 25 mètres avec une vitesse de 3.7 m/s. Pour Crowell & Davis (2011), le test s'effectue une fois avec l'accéléromètre à droite et une fois à gauche avec des chaussures standardisées et à une vitesse de 3.7 m/s sur une distance de 23 mètres. Concernant l'étude de Cheung et al. (2018) et celle de Chan et al. (2018), les tests sont effectués sur tapis roulant avec une plateforme de force intégrée dans le tapis. L'étude de Chan et al. (2018) n'a pas d'accéléromètre. Les participants courent durant cinq minutes à une vitesse de 8km/h puis durant cinq minutes à 12km/h avec une pause de cinq minutes entre les deux vitesses. Les valeurs sont récoltées lors de la dernière minute du test pour chaque vitesse. Dans le cas de l'étude de Cheung et al. (2018), les coureurs ont un accéléromètre triaxial positionné au niveau de la partie postérieure du talon et aligné à l'axe du tibia et courent sur tapis roulant durant trois minutes afin d'obtenir les outcomes initiaux qui sont récoltés lors des 20 derniers cycles de course de l'essai. Seule cette étude propose ensuite une seconde partie de test plus complexe : des distractions cognitives et verbales sont demandées aux coureurs alors qu'ils ont l'instruction de courir plus légèrement. Cette seconde partie de test est effectuée avec feedback visuel en temps réel sur la PPA durant trois minutes puis sans feedback visuel durant trois minutes dans un ordre randomisé et les outcomes sont mesurés également lors des 20 derniers cycles de course de l'essai.

Seule l'étude de Cheung et al. (2018) propose des chaussures standardisées pour tous les coureurs lors des tests mais également pour l'intervention. L'étude de Crowell & Davis (2011) propose des chaussures standardisées uniquement pour les tests.

Ces tests baseline sont également effectués après la période de contrôle (post-control) pour l'étude de Bowser et al. (2018) puis à la fin de la période de programme de course à pied pour nos cinq études (post-intervention). Ces tests sont également effectués durant le follow-up pour certaines études.

Intervention : Le programme de course à pied proposé par les cinq études est de durée variant entre deux et trois semaines avec un nombre de sessions du programme entre six et huit. Seule l'étude de Clansey et al. (2014) propose six sessions. L'étude de Clansey et

al. (2014) et celle de Chan et al. (2018) étant de RCT, le groupe « contrôle » effectuée dans les deux cas un programme de course à pied sur tapis roulant sans feedback visuel.

L'étude de Bowser et al. (2018) est la seule à proposer huit sessions de course à pied de contrôle deux semaines avant de commencer le programme. Ces sessions se font sur tapis roulant et le temps augmente progressivement de 15 à 30 minutes. Aucune instruction n'est donnée, les participants courent à leur propre vitesse. Un test d'analyse est effectué après cette période de contrôle (post-control).

Quatre de nos articles offrent un feedback visuel en temps réel sur la PPA et l'article de Chan et al. (2018) offre un feedback visuel en temps réel sur le pic d'impact vertical (VIP).

Un écran est proposé en face des coureurs à hauteur des yeux afin de donner un feedback visuel. L'écran de l'étude de Bowser et al. (2018) et de l'étude de Crowell & Davis (2011) expose un graphique exposant les amplitudes de la PPA en temps réel avec une ligne horizontale représentant la valeur seuil à ne pas dépasser. Chan et al. (2018) offre le même concept avec l'amplitude de la VIP mais sans ligne indiquant une valeur seuil. Quant à l'étude de Cheung et al. (2018) et celle de Clansey et al. (2014), elles exposent sur l'écran des ronds qui changent de couleur en fonction des valeurs de la PPA. Ainsi, pour Cheung et al. (2018), si la PPA est dans les valeurs acceptables, un rond vert s'affiche et si la valeur seuil est dépassée, un rond rouge apparaît. Dans le cadre de Clansey et al. (2014), une lumière orange est ajoutée en plus, signifiant que la valeur de la PPA est entre 50 et 75% de la valeur de PPA relevée lors du test baseline.

La valeur seuil de PPA à ne pas dépasser pour l'étude de Bowser et al. (2018) et celui de Clansey et al. (2014) est de 50% de la PPA relevée lors du test baseline. L'étude de Crowell & Davis (2011) expose une valeur seuil à 50% de la moyenne des valeurs de PPA relevée lors du début de la première session. Cheung et al. (2018) donne une valeur seuil à 80% de la PPA initiale. L'étude de Chan et al. (2018) demande uniquement de courir plus légèrement.

Tous nos articles à l'exception de Clansey et al. (2014) proposent un protocole de programme de course à pied avec feedback visuel en temps réel identique. Les participants courent à leur propre vitesse pour une durée augmentant progressivement au fur et à mesure des séances de 15 à 30 minutes. En parallèle, la durée du feedback est diminuée au fur et à mesure des sessions.

L'étude de Bowser et al. (2018) et celle de Crowell & Davis (2011) spécifient que les participants ne doivent pas courir en dehors des sessions du programme. Pour Bowser et

al. (2018), ils doivent également avoir au minimum un jour de pause après deux jours de sessions du programme consécutives tandis que Crowell & Davis (2011) proposent un jour de pause entre deux sessions.

Concernant l'étude de Clansey et al. (2014), le protocole est différent. La durée totale d'une session est de 30 minutes incluant cinq minutes d'échauffement, cinq minutes de repos et 20 minutes de course avec le feedback. Le feedback est donné de manière continue sur un écran durant l'intégralité du programme. En plus du feedback visuel, les coureurs reçoivent un feedback auditif via un haut-parleur. La vitesse de course est imposée à 3.7 m/s. Les coureurs ont l'autorisation de courir en dehors des sessions du programme mais pas 24 heures avant les jours de tests.

Follow-up : Quatre de nos études proposent un suivi dans le temps. L'étude de Bowser et al. (2018) propose une analyse de course à un, six et douze mois. L'étude de Clansey et al. (2014) ainsi que Crowell & Davis (2011) proposent le même processus mais à un mois après le programme. L'étude de Chan et al. (2018) propose un follow-up d'une durée de douze mois sur l'apparition ou non de blessures. Les coureurs ne retournent pas effectuer d'analyses de course mais doivent remplir chaque mois un formulaire sur l'incidence de blessures.

c. Description des outcomes utilisés

Dans nos cinq articles, les recherches s'intéressaient au taux de charge vertical moyen (VALR) et instantané (VILR) obtenus grâce à une plateforme de force. Toutes nos études sauf celle de Chan et al. (2018) s'intéressent également au pic d'accélération positive (PPA) par l'intermédiaire d'un accéléromètre. Dans les cinq articles, la manière d'obtenir les outcomes est expliquée précisément en exposant les valeurs choisies pour fréquencer l'échantillonnage et dans un second temps les filtres utilisés avec les valeurs choisies. De plus, il est mentionné les logiciels utilisés pour traiter les données.

Pour finir, seule l'étude de Crowell & Davis (2011) propose un examen subjectif de la douleur ou d'une gêne à chaque début de session du programme ainsi qu'au follow-up.

4) Résultats des outcomes

Les résultats que nous allons présenter ci-dessous sont présentés sous forme de graphiques dans les annexes [Annexe V]. En annexe sont également retrouvés les tableaux de résultats pour les différents follow-up [Annexe VI].

Concernant la douleur, l'étude de Crowell et Davis (2011) observe huit coureurs présentant une douleur ou gêne durant le programme de course à pied mais ces douleurs ne persistent pas après quelques sessions. Aucune plainte n'est recueillie à un mois.

a. Pic d'accélération positive (PPA)

Nos quatre articles s'intéressant à la PPA ont soulevé une baisse significative des valeurs suite au programme de course à pied avec feedback visuel.

Tableau 2 : Résultat de la PPA en (g)

Articles	Groupes	n	Avant (SD)	Après (SD)	Δ (%)	P inter-groupe
Crowell & al. (2011)	NA	10	8,19 (2,52)	4,30 (1,50)	-47,50*	NA
Bowser & al. (2018)	NA	19	8,82 (3,08)	6,02 (2,54)	-31,75*	NA
Cheung & al. (2018) avec feedback	NA	16	11,92 (4,90)	8,07 (2,73)	-32,30*	NA
Cheung & al. (2018) sans feedback	NA	16	16,05 (7,03)	9,46 (4,03)	-41,06*	NA
Chan & al. (2018) 8km/h	I	166	NA	NA	NA	NA
	C	154	NA	NA	NA	NA
Chan & al. (2018) 12km/h	I	166	NA	NA	NA	NA
	C	154	NA	NA	NA	NA
Clansey & al. (2014)	I	12	10,67 (1,85)	7,39 (1,48)	-30,74*	< 0.05
	C	11	9,78 (1,68)	9,99 (1,97)	2,15	

NA : non applicable, l'outcome n'a pas été mesuré

* : Différence significative avant/après

(SD) : Déviation standard

n : Nombre de participants

Δ (%) : Pourcentage d'amélioration entre avant/après. Valeurs négatives = amélioration. Valeurs positives = régression

Dans l'étude de Bowser et al. (2018), une baisse significative de 17% est trouvée suite à la période de contrôle (post-control). Suite au programme, une baisse significative de 32% est relevée en comparaison avec les valeurs suivant la période contrôle. De plus, Les valeurs de PPA sont diminuées significativement à chaque analyse de course à pied durant le follow up (1, 6 et 12 mois) en comparaison avec les valeurs post-control. Pour finir,

l'étude montre une corrélation positive entre la réduction des valeurs de PPA et la réduction des valeurs de VILR et VALR entre post-control et post-intervention.

Dans l'étude de Cheung et al. (2018), deux modifications importantes sont relevées. Premièrement, une diminution significative ($p < 0.05$) est trouvée après le programme de course à pied, peu importe si les tests avec distractions sont effectués avec ou sans feedback visuel. Cette amélioration significative des valeurs est de 32% lors du test avec feedback visuel et de 41% sans feedback visuel. Deuxièmement, lors des tests, la PPA est diminuée de manière significative lors de la présence d'un feedback visuel comparé à ceux sans feedback visuel. Cette deuxième modification étant valable avant et après le programme de course à pied.

L'étude de Crowell & Davis (2011) relève une diminution significative de 48% entre les valeurs de baseline et celles suite au programme de course à pied avec feedback visuel. Cette baisse est significative de 44% à un mois comparée aux valeurs de baseline mais ces valeurs ne sont pas significatives en comparaison avec les valeurs recueillies suivant le programme (post-intervention).

Pour l'étude de Clansey et al. (2014), la PPA a diminué de manière significative ($p < 0.05$) de 31% suite au programme pour le groupe « intervention ». Une différence significative est trouvée entre les deux groupes. La diminution significative ($p < 0.001$) persiste à un mois en comparaison avec les valeurs de baseline pour le groupe intervention mais également pour la comparaison entre les groupes.

b. Taux de charge vertical moyen (VALR)

Bowser et al. (2018) trouvent une baisse significative de 25% après la période d'intervention en comparaison avec les valeurs suivant la période contrôle. La baisse significative persiste lors des follow-up.

L'étude de Crowell & Davis (2011) relève les mêmes modifications significatives que pour la PPA avec une diminution significative de 32% entre les valeurs de baseline et celles suite au programme. Cette baisse significative est de 27% à un mois.

L'étude de Cheung et al. (2018) trouve les mêmes modifications que pour la PPA décrites ci-dessus. L'amélioration significative des valeurs entre avant et après le programme de course à pied est de 19% lors du test avec feedback visuel et de 24% sans feedback visuel. Concernant les RCT, l'article de Chan et al. (2018) relève une différence significative ($p < 0.001$) à 8 et 12km/h entre le groupe « contrôle » et le groupe « intervention ». Pour le groupe intervention, une diminution significative des valeurs de 17% à 8 km/h et de

18% à 12 km/h est relevée en comparant avant et après l'intervention ainsi qu'une augmentation significative uniquement à 12 km/h pour le groupe contrôle en comparant avant et après le programme.

Pour l'étude de Clansey et al. (2014), la VALR a diminué de manière significative de 18% suite au programme pour le groupe « intervention ». Une différence significative est trouvée entre les deux groupes. La diminution ne persiste pas de manière significative à un mois.

Tableau 3 : Résultat de la VALR en BW/s sauf pour Cheung et al. (2018) : N/kg/s

Articles	Groupes	n	Avant (SD)	Après (SD)	Δ (%)	P inter-group
Crowell & al. (2011)	NA	10	74,84 (15,92)	50,57 (10,34)	-32,43*	NA
Bowser & al. (2018)	NA	19	90,60 (27,34)	67,65 (25,51)	-25,33*	NA
Cheung & al. (2018) avec feedback visuel	NA	16	37,26 (11,28)	30,03 (11,17)	-19,40*	NA
Cheung & al. (2018) sans feedback visuel	NA	16	45,01 (11,48)	34,02 (11,18)	-24,42*	NA
Chan & al. (2018) 8km/h	I	166	65,95 (9,90)	54,82 (11,04)	-16,88*	< 0.001
	C	154	67,81 (9,97)	67,51 (10,33)	-0,44	
Chan & al. (2018) 12km/h	I	166	81,28 (13,59)	66,65 (12,53)	-18,00*	< 0.001
	C	154	83,51 (11,41)	85,15 (11,84)	1,96*	
Clansey & al. (2014)	I	12	66,54 (17,45)	54,62 (14,41)	-17,91*	< 0.05
	C	11	69,07 (15,17)	71,06 (18,66)	2,88	

NA : non applicable, l'outcome n'a pas été mesuré

* : Différence significative avant/après

(SD) : Déviation standard

n : Nombre de participants

Δ (%) : Pourcentage d'amélioration entre avant/après. Valeurs négatives = amélioration. Valeurs positives = régression

c. Taux de charge vertical instantané (VILR)

Les résultats retrouvés pour cet outcome sont semblables à ceux expliqués ci-dessus pour la VALR. Les pourcentages d'amélioration varient et sont exposés dans le tableau ci-dessous.

Selon les résultats de l'étude de Chan et al. (2018), il y a 62% d'incidence de blessures en moins dans le groupe intervention comparé au groupe contrôle à 12 mois, ceci n'étant pas relié à un outcome spécifique.

Tableau 4 : Résultat VILR en BW/s sauf pour Cheung et al. (2018) : N/kg/s

Articles	Groupes	n	Avant (SD)	Après (SD)	Δ (%)	P inter-group
Crowell & al. (2011)	NA	10	90,06 (18,63)	59,02 (10,87)	-34,86*	NA
Bowser & al. (2018)	NA	19	109,51 (30,26)	79,59 (28,97)	-27,32*	NA
Cheung & al. (2018) avec feedback	NA	16	50,29 (10,04)	43,82 (10,14)	-12,87*	NA
Cheung & al. (2018) sans feedback	NA	16	57,80 (7,74)	47,43 (9,25)	-17,94*	NA
Chan & al. (2018) 8km/h	I	166	90,69 (13,90)	75,02 (17,10)	-17,28*	< 0.001
	C	154	92,32 (10,81)	93,37 (12,11)	1,14*	
Chan & al. (2018) 12km/h	I	166	111,87 (14,51)	94,75 (19,61)	-15,30*	< 0.001
	C	154	114,32 (16,42)	116,12 (17,20)	1,57*	
Clansey & al. (2014)	I	12	113,87 (33,01)	92,10 (27,06)	-19,12*	< 0.05
	C	11	124,61 (26,97)	137,37 (46,93)	10,24	

NA : non applicable, l'outcome n'a pas été mesuré

* : Différence significative avant/après

(SD) : Déviation standard

n : Nombre de participants

Δ (%) : Pourcentage d'amélioration entre avant/après. Valeurs négatives = amélioration. Valeurs positives = régression

Discussion

1) Interprétation de la qualité des articles

a. Selon les échelles

Comme expliqué précédemment, nous allons parler uniquement de l'échelle McMaster en détails, car c'est la seule qui compare nos cinq articles.

Toutefois, pour l'échelle PEDro, nous souhaitons souligner que les deux études ont perdu trois points sur les items à l'aveugle. En effet, il est difficile de prodiguer un traitement avec feedback visuel à l'aveugle. Les sujets seront difficilement à l'aveugle et les examinateurs également. Toutefois, les évaluateurs peuvent être à l'aveugle et ce n'est pas précisé dans les deux études.

Concernant l'échelle McMaster, nous avons jugé que nos études étaient de qualité discutable mais nous avons pu observer que deux études étaient en première place avec 11 points « oui » sur 14 ; Chan et al. (2018) et Bowser et al. (2018). Ainsi, ce sont les deux études que nous avons jugées de bonne qualité. Ce qui est intéressant de relever est

qu'une étude est de design RCT et l'autre design est prospectif. Ceci est d'autant plus intéressant, car selon la hiérarchie des niveaux de preuves en fonction des designs d'étude, les RCT sont mieux positionnées que les études prospectives. D'autre part nous souhaitons souligner que ces deux études sont celles qui ont obtenu le plus de points sur les échelles de PEDro et de STROBE. Nous pouvons donc conclure que grâce à ces trois échelles, il ressort à chaque fois les deux mêmes études en première position.

La perte de points pour l'intégralité des études excepté celle de Chan et al. (2018) est principalement à cause d'une utilisation non adéquate des tests statistiques [Annexe IV], ce qui nous semble donc partiellement biaiser la pertinence des résultats. D'autre part, chaque étude perd au minimum un « oui » à cause d'un manque de clarté et d'informations pour un des items. L'étude de Cheung et al. (2018) obtient un score qui est plus défavorable avec l'échelle de McMaster, car beaucoup d'éléments tels que la pertinence des tests statistiques choisis, ainsi que la pertinence clinique sont à discuter. De plus, ils ne parlent pas des biais méthodologiques, ce qui empêcherait le lecteur d'effectuer le protocole dans sa clinique sans reproduire certaines erreurs.

Pour finir, nous souhaitons souligner que certains auteurs sont communs entre l'étude de Crowell & Davis (2011) et celle de Bowser et al. (2018). Il en va de même entre l'étude de Cheung et al. (2018) et celle de Chan et al. (2018). Ceci entraîne un biais dans l'extrapolation des résultats de notre revue, car nous pouvons nous questionner si un même groupe d'auteurs cherche absolument à montrer des progrès en faisant plusieurs études.

b. Présentation des résultats

L'étude de Chan et al. (2018), propose les résultats sous forme d'histogramme. Cependant, aucune légende n'est exposée pour ces graphiques, ce qui rend la lecture compliquée. Il manque cependant des informations essentielles afin d'analyser les résultats des articles de Bowser et al. (2018) et de Crowell & Davis (2011). Nous pouvons nous interroger sur la raison de ce choix et nous considérons ceci comme un biais. Néanmoins, nous avons pu contacter les auteurs de ces trois articles et ces derniers nous ont gentiment fourni les données manquantes, ce que nous considérons comme positif, car nous avons eu les informations nécessaires afin d'éviter de devoir extrapoler les résultats à partir des graphiques.

2) Points forts, biais et limites des études

a. Population

Dans nos cinq études, les populations sont décrites avec des critères d'inclusion précis et les caractéristiques des participants sont explicitées. Les critères d'inclusion que nous souhaitons souligner sont l'absence de blessures au moment de l'étude ainsi que les valeurs seuils de PPA ou de VALR. Seul l'article de Clansey et al. (2014) et celui de Chan et al. (2018) exposent une période sans blessures de six mois avant le début de l'étude, ce qui nous donne une analyse des antécédents très importante. De plus seule l'étude de Clansey et al. (2014) et celle de Cheung et al. (2018) proposent des critères d'exclusion comme un antécédent de blessures musculo-squelettique, d'opération ou problème neurologique. Ceci est essentiel, car selon Hulme & al. (2017), l'historique de fractures de stress est un facteur de risque dans le développement d'une nouvelle lésion.

Le nombre de kilomètres minimum requis par semaine afin d'être inclus peut être discuté. La fourchette entre les études est étendue, néanmoins l'étude de Cheung et al. (2018), de Bowser et al. (2018) et de Crowell & Davis (2011) ont des valeurs proches ce qui est positif. Nous nous interrogeons sur l'influence de ce nombre de kilomètres mais également sur le nombre de sessions de courses effectuées par semaine sur les valeurs de VALR, VILR et PPA.

Il aurait été judicieux également de spécifier le type de pose de pied au sol pour les études de Chan et al. (2018) et Cheung et al. (2018) afin de gagner en précision. De plus, les coureurs doivent être récréatifs pour les études sauf celle de Chan et al. (2018) et Bowser et al. (2018), ce qui est manquant. Néanmoins, ceci permet d'observer une population plus large que nous serions potentiellement amenés à rencontrer dans notre pratique professionnelle.

Les valeurs seuil de PPA requises sont légèrement différentes selon les quatre études mais sont justifiées à l'exception de Cheung et al. (2018). Néanmoins, toutes ces valeurs entrent dans la valeur seuil de 8g définie par Milner et al., (2006). Chan et al. (2018) est la seule étude à considérer une valeur seuil de VALR. Nous expliquons ceci par le simple fait que cette étude ne s'intéresse pas à la PPA comme outcome.

Concernant les RCT, un point négatif est à souligner pour l'étude de Clansey et al. (2014) contrairement à l'étude de Chan et al. (2018). Les participants sont assignés aux deux différents groupes de manière randomisée, mais il n'est pas expliqué la manière de

randomisation. De plus, une éventuelle différence significative entre les deux groupes en ce qui concerne les caractéristiques des participants n'est pas exprimée.

Taille de l'échantillon : Seule l'étude de Chan et al. (2018), a proposé un sample size afin de déterminer le nombre exact de participants. C'est notamment l'unique étude avec un grand nombre de participants. C'est un point positif, car le sample size permet d'obtenir une bonne représentativité du groupe et la pertinence clinique des résultats ainsi que l'extrapolation de ces derniers est meilleure. De plus, le risque d'erreur statistique est diminué. Cependant, ce nombre de participants nécessaire n'a pas pu être respecté à cause des drops-out. Les études de Bowser et al. (2018) ainsi que celle de Crowell et al. (2011) proposent une analyse à priori de puissance afin de déterminer le nombre de participants nécessaires pour montrer un effet du programme de course à pied avec feedback visuel. Ceci est manquant pour l'étude de Cheung et al. (2018) et celle de Clansey et al. (2014) afin d'améliorer la qualité et la pertinence des résultats. Cette limite restreint donc la portée des résultats et diminue la fiabilité des résultats.

Sexe : La répartition des sexes est relativement homogène sauf pour l'étude de Cheung et al. (2018), dans laquelle il y a plus du double d'hommes. L'étude de Clansey et al. (2014), propose uniquement des participants hommes ce que nous considérons comme un point faible et moins représentatif de la population générale. Il est donc initialement difficile de généraliser les résultats de cette étude. D'un autre point de vue, en Suisse en 2018, il y a eu plus du double de blessures chez les coureurs hommes que chez les femmes (BPA, 2018), ce qui peut expliquer le choix d'inclure uniquement des hommes dans l'étude de Clansey et al. (2014).

Drop-outs : Les articles de Clansey et al. (2014), de Chan et al. (2018) ainsi que celui de Bowser et al. (2018) expliquent les drop-outs ainsi que l'exclusion d'un certain nombre de participants qui sont survenu au cours de l'étude ainsi que la raison de ces derniers.

En ce qui concerne les comparaisons inter-étude, nous en avons brièvement parlé ci-dessus. Cependant nous nous questionnons sur la possibilité de généralisation des résultats à une population plus large au vu de la petite taille de l'échantillon dans tous nos articles exceptés celui de Chan et al. (2018). De plus, il est difficile d'évaluer la potentielle influence de la différence d'âge, de masse, du nombre de kilomètres de course à pied par

semaine et de la répartition des sexes entre nos études sur le taux de charge vertical moyen et instantané ainsi que sur le pic d'accélération positive. Ainsi, ces différentes influences nous font relativiser la généralisation de nos résultats.

En conclusion, malgré un certain nombre de biais, la population sélectionnée dans nos différents articles nous permet de répondre à notre question de recherche. Cependant, les conclusions de ce travail sont valables uniquement pour cette population spécifique et donc la portée de la généralisation à une population plus large est à prendre avec précaution.

b. Intervention

Certains points sont flous et sont sujets à discussion.

Tests : Les tests sont expliqués avec des modalités précises pour nos cinq articles, ce qui est positif. Cependant, nous nous interrogeons sur la surface de course choisie entre les articles, à savoir des tests effectués au sol ou sur tapis roulant. Il est intéressant d'effectuer les tests au sol, car les conditions se rapprochent du milieu naturel des coureurs. Néanmoins, il est à noter que les tests sont dans tous les cas effectués sur surface plane, ce qui n'est pas forcément la surface retrouvée quotidiennement pour les coureurs. Ainsi, il est initialement difficile de connaître sans un follow-up la transposition du schéma de course à l'extérieur du laboratoire. Parallèlement à ceci, seul l'article de Cheung et al. (2018) propose des tests en incluant des distractions. Cette modalité est essentielle, car elle permet d'être plus représentative de la vie quotidienne des coureurs.

De plus, on peut s'interroger sur le choix d'imposer une vitesse de course à pied de 3.7 m/s pour les tests dans l'article de Bowser et al. (2018), celui de Clansey et al. (2014) ainsi que celui de Crowell & Davis (2011). L'étude de Chan et al. (2018) propose également des tests à des vitesses imposées, à savoir 8 et 12km/h. Ces études n'expliquent pas la raison de ce choix, ce qui aurait pu être intéressant. Ceci permet en partie de standardiser l'impact de la vitesse sur les outcomes afin de pouvoir observer plus spécifiquement l'effet de l'intervention. En effet, il est démontré que la vitesse de course va avoir une influence sur la PPA relevée par l'accéléromètre (Sheerin, Reid & Besier, 2019) et sur la VGRF (Grimshaw & Burden, 2010, p.304). Cependant, un point que nous relevons est que dans le cas où la vitesse définie n'est pas intuitive pour un participant, alors la modification de ce paramètre pourrait potentiellement affecter les valeurs du loading rate.

Pour finir, l'étude de Cheung et al. (2018) propose aux coureurs des chaussures standardisées pour l'intégralité de l'étude alors que Crowell & Davis (2011) propose des chaussures standardisées uniquement pour les tests. Nous trouvons cela intéressant, car cette action permet de s'intéresser plus spécifiquement à l'intérêt de l'intervention. Néanmoins, le fait de changer de chaussures peut impacter les valeurs naturelles du loading rate du coureur. De plus, nous ne savons pas si les coureurs arriveront à transposer le nouveau schéma de course en dehors de laboratoire avec leurs propres chaussures.

Intervention : Premièrement, il est intéressant de noter que tous les articles, à l'exception de celui de Clansey et al. (2014), se basent sur un même protocole consistant à augmenter progressivement la durée de la session de course à pied tout en diminuant le temps de feedback visuel. Ainsi, ce concept peut expliquer des différences dans les résultats avec l'étude de Clansey et al. (2014) qui ne propose pas ce concept.

Concernant les modalités des sessions, l'étude de Clansey et al. (2014) propose six sessions contre huit pour les autres études. Cet article est le seul à imposer une vitesse de course pour les sessions. Ces différentes modalités peuvent influencer les résultats et la pertinence de l'article de Clansey et al. (2014) pour la clinique. A contrario, seule l'étude de Clansey et al. (2014) propose d'associer le feedback visuel avec une part de feedback auditif. Ceci peut potentiellement augmenter l'intégration des informations afin de diminuer le loading rate. L'étude de Bowser et al. (2018) est l'unique article proposant une période de huit sessions de contrôle. L'explication donnée est que ceci permet aux participants de s'habituer à courir sur tapis roulant. Ceci peut déjà impacter les outcomes, d'autant plus que les comparaisons de résultats sont effectuées à partir des valeurs recueillies suite à la période contrôle et non aux valeurs de baseline.

La modalité des feedbacks donnée en fonction des études varie, à savoir si l'écran montre un graphique ou des feux de signalisation. Nous nous questionnons donc sur l'implication de ces différentes modalités sur les outcomes.

D'autre part, l'autorisation ou non de courir en dehors du programme peut impacter les résultats. L'article de Bowser et al. (2018) et celui de Crowell et Davis (2011) permettent d'être plus précis et empêchent de renforcer le schéma de course à pied que les coureurs avaient avant l'étude étant donné qu'ils n'ont pas l'autorisation de courir en dehors. Concernant l'étude de Chan et al. (2018), nous avons de la peine à interpréter ce qui est mentionné dans l'étude et donc de savoir si les coureurs étaient autorisés ou non à courir en dehors des sessions.

Nous pensons que les informations concernant le temps de repos entre les sessions sont importantes afin de pouvoir prendre en considération la fatigue des coureurs qui est un facteur pouvant influencer les résultats (Sheerin, Reid & Besier, 2019). Cette information est lacunaire pour les articles de Chan et al. (2018), de Cheung et al. (2018) et celui de Clansey et al. (2014), car ils expriment un nombre de séances par semaine mais pas la répartition.

Tous les articles à l'exception de celui de Chan et al. (2018) proposent une valeur seuil de PPA à ne pas dépasser lors des sessions du programme. Ceci est essentiel mais nous nous interrogeons sur le choix des seuils choisis.

Pour finir, la fréquence de prises de mesures ainsi que le moment où les mesures sont prises varient entre les études. L'implication de ces phénomènes sur les outcomes est donc à questionner.

Follow-up : Seul l'étude de Bowser et al. (2018) propose un follow-up avec une analyse de course à pied à un, six et 12 mois. Selon nous, c'est donc l'unique étude pouvant montrer un effet sur le long terme. Les articles de Crowell & Davis (2011) et de Clansey et al. (2014) proposent un follow-up d'un mois, ce que nous considérons comme relativement faible, car nous savons que la fracture de stress tibiale se développe en plusieurs semaines (Wilder & Sethi, 2004). Ainsi, même si l'effet persiste après un mois, il nous est impossible de savoir si ceci peut avoir un lien avec les fractures de stress tibiales. Il reste intéressant de voir si l'effet persiste à court terme afin de connaître si les modifications obtenues grâce au feedback visuel peuvent persister dans la vie quotidienne et donc sur différents terrains et à l'extérieur.

Concernant l'étude de Chan et al. (2018), le follow-up se fait via un formulaire d'apparition de blessures sur un an. Les participants ne retournant pas effectuer d'analyses de course à pied, il nous est impossible de savoir si les participants ont réussi à maintenir une valeur du loading rate diminuée et si ceci a permis de diminuer l'incidence dans le groupe « intervention » en comparaison avec le groupe « contrôle ». D'autre part, plusieurs biais peuvent survenir lorsqu'un feedback est effectué à distance. Nous pensons notamment que la vie quotidienne des participants n'est pas connue et peut impacter les résultats, de même manière que la pratique de la course à pied en dehors du laboratoire, à savoir la régularité des entraînements par exemple.

Pour finir, il faut noter que des éventuelles conséquences inattendues peuvent intervenir à cause du programme de course à pied avec feedback visuel, notamment l'apparition de

nouvelles blessures. Les participants étant sains et sans plainte, le fait de changer de style de course peut entraîner une augmentation du risque de développer une autre blessure. Il est intéressant de noter que dans le groupe « intervention » il y a eu plus de cas de tendinopathie d'achille ou de shin splint que dans le groupe « contrôle » dans le cadre du follow-up de l'étude de Chan et al. (2018). La pathologie du shin splint peut être définie par une douleur sur la partie médiale et distale du tibia et il a été démontré qu'une explication du shin splint peut être la fracture de stress tibiale (Wilder & Sethi, 2004).

Pour conclure, malgré différents biais, les interventions proposées dans nos cinq articles répondent à notre question de recherche initiale et donc nous pouvons connaître en partie l'efficacité de ce programme de course à pied avec feedback visuel sur le loading rate.

3) Outils de mesure

Le pic d'accélération positive a récemment été corrélé au loading rate et donc la PPA obtenue grâce à un accéléromètre est une méthode valide permettant d'évaluer le loading rate chez les coureurs (Van den Berghe, Six, Gerlo, Leman & De Clercq, 2019). Ainsi, s'il n'y a pas la possibilité d'avoir une plateforme de force, l'accéléromètre est une méthode adéquate afin d'évaluer le taux de mise en charge des coureurs.

L'accéléromètre et la mesure de la PPA ont également été reconnus comme ayant une fidélité moyenne à bonne (Sheerin, Besier, Reid & Hume., 2018). De ce fait, cet outil de mesure nous semble cohérent à utiliser dans le cadre de notre problématique.

4) Interprétation des résultats par outcomes

La limite majeure que nous avons identifiée et qui est essentielle de notre point de vue est l'absence d'un groupe contrôle ne recevant pas de programme de course à pied avec feedback visuel pour les études cliniques prospectives. Ceci entraîne une incertitude sur l'efficacité réelle de l'intervention. En l'absence d'un groupe contrôle, nous ne pouvons pas déterminer avec certitude que la diminution du loading rate et de la PPA soit dû au programme et non pas à l'évolution normale ou au simple fait d'effectuer une intervention. La généralisation des résultats de ces études cliniques prospectives est limitée et aura moins de poids que les deux études cliniques randomisées. Cependant, d'un autre point de vue, il est possible de considérer que les coureurs peuvent jouer le rôle d'être leur propre groupe contrôle. En effet, les coureurs ont leur habitude de course

qui ne se modifiera pas si on effectue un programme de course à pied simple sans feedback. Ainsi, nous nous questionnons sur le réel intérêt d'avoir un groupe contrôle et donc d'effectuer des études cliniques randomisées.

Pour l'intégralité de nos outcomes plusieurs points vont influencer les résultats : les modalités d'interventions et tests décrits précédemment ; la sélection des participants ainsi que leurs caractéristiques entre les études. La littérature a démontré que le poids du corps va influencer la VGRF (Grimshaw & Burden, 2010, p.304). De plus, il a été montré que la vitesse va influencer la VGRF (Grimshaw & Burden, 2010, p.304) et la PPA, de même que la fatigue (Sheerin, Reid & Besier, 2019).

L'article de Crowell & Davis (2011) est le seul à s'intéresser à la douleur. Il est intéressant de noter que les participants ressentent une douleur lors de quelques sessions et qu'elle disparaît par la suite. Ceci est probablement dû à la modification du style de course et du schéma moteur que les coureurs effectuent afin de diminuer les valeurs de nos outcomes. Nous pensons qu'il est positif et même essentiel de s'intéresser à la douleur et cet élément est manquant dans le reste de nos articles.

a. PPA

Nos quatre articles évaluant la PPA ont trouvé une diminution significative de valeurs entre avant et après le programme de course à pied avec feedback visuel. Clansey et al. (2014) expose en plus une diminution significative de l'outcome dans le groupe « intervention » comparé au groupe « contrôle ».

L'étude de Clansey et al. (2014) observe le pourcentage d'amélioration significatif des valeurs de PPA le plus faible (31%) pour le groupe ayant reçu l'intervention en comparaison avec les autres études. Nous pouvons expliquer ceci principalement par le protocole d'intervention. Cependant, au vu de la différence non significative des valeurs au sein du groupe « contrôle », nous pouvons conclure que l'intervention proposée a un réel impact sur la PPA.

L'article de Crowell & Davis trouve la meilleure amélioration (48%). Nous pensons que ceci peut être dû au nombre de participants qui est le plus faible de toutes nos études mais également au protocole de test. Ainsi, ceci offre un biais concernant les résultats. Nous avons cependant de la peine à justifier ce meilleur pourcentage d'amélioration. Cela peut également être dû aux caractéristiques intrinsèques des coureurs, notamment la moyenne de la masse des participants qui est la plus élevée dans cette étude. Le protocole

d'intervention peut également expliquer les résultats, notamment avec l'interdiction de courir hors des séances ce qui permet de mieux intégrer le nouveau schéma moteur.

L'article de Bowser et al. (2018) compare les résultats suivant le programme avec les valeurs suivant la période contrôle et non avec les valeurs de baseline. Ceci impacte les résultats, car les valeurs de PPA ont diminué de 17% à la suite de la période de contrôle comparé aux valeurs de baseline.

Il est intéressant de noter que la PPA est l'outcome ayant montré le meilleur pourcentage d'amélioration des valeurs pour l'intégralité de nos articles. Nous pouvons expliquer ceci par le fait que le feedback donné aux coureurs concerne les valeurs de PPA et donc les coureurs ont un bon suivi des valeurs.

L'étude de Cheung et al. (2018) montre qu'après le programme de course à pied, l'ensemble des outcomes (PPA, VILR, VALR) sont améliorés de manière significative lorsque les tests sont effectués avec feedback comparé aux tests sans feedback. Ceci montre que l'intégration du nouveau schéma moteur de course n'est pas complet et dès lors, il serait nécessaire de proposer un plus grand nombre de sessions.

b. VALR et VILR

Nos cinq articles ont trouvé une diminution significative des valeurs entre avant et après le programme de course à pied avec feedback visuel. Les deux essais cliniques randomisés exposent également une diminution significative de l'outcome chez le groupe ayant reçu l'intervention comparé au groupe contrôle.

Pour la VALR, l'étude de Chan et al. (2018) expose le plus faible pourcentage d'amélioration pour le groupe « intervention » lors des tests à 8 km/h (17%). Nous pensons que les modalités de feedback données aux participants influencent ces résultats. Néanmoins, la différence non significative des valeurs au sein du groupe contrôle suggère, que l'intervention proposée a un réel impact sur la VALR.

c. Follow-up

A un mois suivant la fin de l'étude, l'étude de Clansey et al. (2014) observe un maintien d'une diminution significative pour la PPA au sein du groupe « intervention » mais pas pour la VALR ou la VILR. Nous pouvons expliquer ceci par les modalités d'interventions. Les articles de Bowser et al. (2018) et celle de Crowell & Davis (2011) observent un maintien significatif de la diminution des valeurs de PPA mais également

de VALR et VILR entre avant l'intervention et à un mois. Pour Crowell & Davis (2011), aucune diminution significative n'est retrouvée entre les valeurs suivant l'intervention et celles à un mois. Il y a même une légère augmentation des valeurs. Comme l'explique les auteurs, ceci peut donc montrer qu'il est nécessaire de prolonger le programme à plus de huit sessions. Dans l'article de Bowser et al. (2018), les bénéfices observés à la suite de l'intervention et à un mois sont maintenus à six et douze mois. Ceci nous semble donc prometteur, car c'est la première étude à proposer un follow-up à long terme et qui montre que l'effet persiste de manière significative. Néanmoins, il nous est difficile de généraliser les résultats en se basant uniquement sur une étude clinique prospective. Nous pensons qu'il est nécessaire d'effectuer davantage d'études avec un follow-up sur le long terme afin d'observer si les résultats sont fiables ou non.

5) Limite de notre revue

Nous avons été confrontés à plusieurs limites dans le cadre de la réalisation de ce travail de bachelor. Premièrement, les biais des études que nous avons cités précédemment semble limiter le poids et la pertinence de notre revue. De plus, les différences entre nos études ont entraîné certaines difficultés afin de les comparer. Nous souhaitons donc préciser que les résultats de notre revue sont à prendre avec précaution.

Au niveau théorique, nous avons dû effectuer de nombreuses recherches afin de comprendre le fonctionnement de la biomécanique de la course à pied ainsi que les enjeux qui en découlent. Ayant peu de connaissances en physique, nous avons eu des difficultés à comprendre les concepts d'accéléromètre et de plateforme de force.

Nous avons essayé d'être exhaustifs dans la méthodologie en effectuant les recherches chacun de notre côté avant de confronter nos résultats, cependant il n'est pas exclu que nous ayons oublié une étude.

L'analyse des résultats a été soumise à quelques difficultés, car nous avons des connaissances de base en statistiques. Néanmoins, nous avons pu demander de l'aide lorsque nous avions des questions. Nous avons également parfois été confrontés à une difficulté de traduction, car certains termes anglais n'ont pas de traduction française aussi précise. Pour finir, la réalisation des tableaux de résultats et des graphiques afin de les rendre lisibles a été compliquée, car les tests étaient différents entre les études ainsi que les comparaisons entre les outcomes.

6) Confrontation avec la littérature

Notre revue montre un effet positif et significatif du programme de course à pied avec feedback visuel sur le taux de mise en charge du pied au sol à court terme chez des coureurs non blessés adultes. La littérature actuelle semble se diriger dans la même direction que cette constatation. Les résultats de la revue systématique de Napier, Cochrane, Taunton et Hunt (2015) trouvent de fortes preuves de l'effet d'un programme de course à pied avec feedback visuel sur la diminution de la PPA et un effet modéré pour la VALR et VILR. Une seconde revue rédigée par Agresta et Brown (2015), trouve les mêmes résultats significatifs pour diminuer le VALR et VILR. Il est intéressant de noter que les deux revues citées ont analysé les études incluant des coureurs sains et des coureurs blessés.

Une étude clinique prospective récente de Ching et al. (2018) propose un programme de course à pied avec un feedback auditif. Le protocole des tests est identique à celui de l'étude de Cheung et al. (2018) que nous avons incluse dans notre revue. Cette étude conclut à un effet significatif du feedback auditif sur la PPA, VILR et VALR. Cependant, à la suite du programme, le fait d'effectuer le test avec ou sans feedback auditif n'a pas d'effet significatif. Ainsi, la conclusion tirée est que l'intégration du nouveau schéma moteur de course semble meilleur que lorsque le feedback est visuel.

Pour finir, une étude de Zhang, Chan, Au, An et Cheung (2019), conclut qu'un nouveau schéma de course appris sur tapis roulant n'est potentiellement pas complètement transposé lors de la course à l'extérieur.

7) Pistes de recherches futures

Le programme de course à pied avec feedback visuel semble avoir un effet sur le taux de mise en charge au sol des coureurs. Toutefois, il n'y a pas de modalités précises sur la durée de feedback, sur le nombre de sessions nécessaires et sur la modalité des sessions ainsi que des tests effectués. Comme l'exprime Agresta et Brown (2015), il est impossible de connaître quel type de feedback est le plus efficace. Dès lors, nous pensons qu'il serait intéressant de proposer des études comparant trois groupes dont : un groupe ayant un programme de course à pied avec feedback visuel ; un groupe avec feedback auditif et un groupe sans feedback. Il serait également intéressant de comparer si ce programme de course à pied peut être effectué sur différentes surfaces de course.

D'autre part, nous pensons qu'il y a une lacune dans les designs d'études, comme l'exprime Agresta et Brown (2015). Il y a très peu d'étude clinique randomisée sur le sujet, ce qui limite la généralisation des résultats et qui limite également la possibilité de connaître si c'est réellement le programme de course à pied avec feedback visuel qui a un effet sur les outcomes.

Il serait également intéressant d'effectuer davantage d'études ayant un follow-up sur un an comme dans le cadre de l'étude de Bowser et al. (2018), afin d'observer si le changement du schéma moteur de course persiste et si celui-ci entraîne une diminution du risque de fracture de stress tibiale.

Enfin, nous trouvons intéressant d'effectuer des études sur une population de coureurs ayant un historique de fracture de stress tibiale, car il a été démontré que cette population a un taux de mise en charge au sol supérieur (Van der Worp et al., 2016).

8) Implication clinique

Cette revue s'est intéressée à une population de coureurs n'ayant pas de blessures mais ayant une valeur de PPA considérée comme haute et donc à risque de développer une fracture de stress tibiale. Dès lors, ce travail est applicable uniquement pour ce type précis de personnes.

La course à pied est continuellement en pleine expansion et la prévention des blessures survenant lors de cette pratique est essentielle. De plus, le physiothérapeute a un rôle éminemment important à jouer dans la prévention, qu'elle soit primaire ou secondaire. Dans ce travail, nous parlons de prévention primaire au vu de la population saine, même si nous ne connaissons pas l'historique précis dans chaque étude.

Ce programme de course à pied avec feedback visuel proposé dans l'analyse de ce travail semble prometteur. Néanmoins, l'effet à un mois est variable entre les études, avec une prédominance pour un effet positif étant donné que deux articles sur trois montrent un maintien de la diminution des valeurs de nos outcomes. L'effet à long terme est, quant à lui, plus compliqué à affirmer et à généraliser au vu de la présence d'un follow-up d'un an uniquement pour l'étude de Bowser et al. (2018). D'autre part, il faut noter que la portée de ce programme reste limitée, car il manque certaines précisions dans les modalités des sessions et de feedback décrites précédemment.

Nous nous questionnons sur la valeur seuil des outcomes qu'il faut atteindre afin d'affirmer qu'il y a un intérêt pour la clinique et la prévention des blessures. Selon Milner et al., (2006), une valeur de PPA supérieure à 8g est considérée comme facteur de risque. Toutes les études s'intéressant à la PPA ont obtenu des valeurs inférieures à 8g à la suite du programme mais seulement les valeurs de Bowser et al. (2018) et Crowell et Davis (2011) sont en dessous à un mois de follow-up.

Il faut noter que le matériel nécessaire dans ces études est conséquent et que les interventions s'effectuent dans des laboratoires, ce qui limite la possibilité de proposer cette méthode au sein des cabinets de physiothérapeutes. Néanmoins, il a été démontré que l'accéléromètre et la PPA sont corrélés à la mesure de l'impact au sol (Van den Berghe et al., 2019). Ceci permet donc une accessibilité plus facile pour les professionnels, car ils n'ont pas besoin de plateforme de force.

Pour finir, nous pensons qu'il pourrait être intéressant d'utiliser ce programme de course à pied avec feedback visuel en rééducation afin d'organiser un retour au sport suite à une blessure. En effet, nous pensons qu'il est possible de charger progressivement le membre inférieur lésé en offrant un feedback sur la charge d'impact au sol. Ainsi, la course à pied pourrait être reprise avec une charge d'impact modérée et progressive sur le membre inférieur lésé.

Conclusion

L'intérêt d'une prise en charge en physiothérapie pour les coureurs est essentiel au vu de la prévalence des blessures liées à ce sport.

Dans ce travail, notre premier objectif était d'évaluer et d'analyser l'effet d'un programme de course à pied avec feedback visuel sur le taux de charge vertical moyen, instantané et sur le pic d'accélération positif chez des coureurs adultes. Au vu des résultats de notre recherche, nous pouvons conclure que ce programme de course à pied entraîne une diminution significative des valeurs du loading rate chez les coureurs. Les cinq articles sélectionnés retrouvent cette même conclusion. Toutefois, les résultats sont à prendre avec précaution, car il existe des biais dans chacune des études incluent dans ce travail. De plus, il y a également des limites existantes dans notre travail, ce qui nous oblige à modérer nos conclusions.

Le second objectif de ce travail était d'évaluer si les modifications du loading rate apportées par le programme de course à pied pouvaient persister dans le temps. Pour cet objectif les résultats sont plus divergeants. En effet, une seule étude a proposé une analyse de course à pied une année après la fin du programme et le maintien de la diminution des valeurs est restée significative. Ceci semble prometteur, néanmoins une autre étude de notre travail révèle que les valeurs à un mois n'ont pas été significativement maintenues. Ainsi, la persistance de l'effet d'un programme de course à pied avec feedback visuel semble pouvoir être maintenu, néanmoins à l'heure actuelle nous manquons de recherches proposant un follow-up à long terme pour affirmer ces conclusions.

Ainsi, grâce à ce travail, nous pouvons répondre à notre question de recherche et donc nous pouvons suggérer qu'un programme de course à pied avec feedback visuel semble être bénéfique à court terme pour la prévention de la fracture de stress tibiale chez les coureurs, car il entraîne une diminution du taux de mise en charge du pied. L'effet à long terme ne peut pas être conclu à l'aide de ce travail, car nous manquons de recherches.

En conclusion, nous pensons que ce programme de course à pied avec feedback visuel est encore en plein essor et il est nécessaire de continuer les recherches sur ce sujet afin de trouver un protocole adéquat ainsi que d'évaluer l'effet à long terme et donc la transposition du schéma de course à l'extérieur. Nous pouvons toutefois conclure que malgré le coût du matériel, cette intervention peut être utilisée par les physiothérapeutes pour améliorer la prise en charge des coureurs adultes en matière de prévention primaire ou pour éventuellement remettre en charge progressivement un membre inférieur à la suite d'une blessure.

Bibliographie

1) Articles sélectionnés

Bowser, B. J., Fellin, R., Milner, C. E., Pohl, M. B., & Davis, I. S. (2018). Reducing Impact Loading in Runners: A One-Year Follow-up. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001710>

Chan, Z. Y. S., Zhang, J. H., Au, I. P. H., An, W. W., Shum, G. L. K., Ng, G. Y. F., & Cheung, R. T. H. (2018). Gait Retraining for the Reduction of Injury Occurrence in Novice Distance Runners: 1-Year Follow-up of a Randomized Controlled Trial. *The American Journal of Sports Medicine*, 46(2), 388–395.
<https://doi.org/10.1177/0363546517736277>

Cheung, R. T. H., An, W. W., Au, I. P. H., Zhang, J. H., Chan, Z. Y. S., & MacPhail, A. J. (2018). Control of impact loading during distracted running before and after gait retraining in runners. *Journal of Sports Sciences*, 36(13), 1497–1501.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1398886>

Clansey, A. C., Hanlon, M., Wallace, E. S., Nevill, A., & Lake, M. J. (2014). Influence of tibial shock feedback training on impact loading and running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(5), 973–981.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000182>

Crowell, H. P., & Davis, I. S. (2011). Gait retraining to reduce lower extremity loading in runners. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 26(1), 78–83.
<https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2010.09.003>

2) Bibliographie

- Agresta, C., & Brown, A. (2015). Gait Retraining for Injured and Healthy Runners Using Augmented Feedback: A Systematic Literature Review. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 45(8), 576-584. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5823>
- Astur, D. C., Zanatta, F., Arliani, G. G., Moraes, E. R., Pochini, A. de C., & Ejnisman, B. (2016). Stress fractures: definition, diagnosis and treatment. *Revista Brasileira De Ortopedia*, 51(1), 3-10. <https://doi.org/10.1016/j.rboe.2015.12.008>
- Baggaley, M., Willy, R. W., & Meardon, S. A. (2017). Primary and secondary effects of real-time feedback to reduce vertical loading rate during running. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(5), 501-507. <https://doi.org/10.1111/sms.12670>
- Ballaz, L., Raison, M., & Detrembleur, C. (2013). Decomposition of the vertical ground reaction forces during gait on a single force plate. *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions*, 13(2), 236-243.
- Barton, C. J., Bonanno, D. R., Carr, J., Neal, B. S., Malliaras, P., Franklyn-Miller, A., & Menz, H. B. (2016). Running retraining to treat lower limb injuries: a mixed-methods study of current evidence synthesised with expert opinion. *British Journal of Sports Medicine*, 50(9), 513-526. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095278>
- Bennell, K. L., & Brukner, P. D. (1997). Epidemiology and site specificity of stress fractures. *Clinics in Sports Medicine*, 16(2), 179-196.
- Brukner, P., Khan, K., Clarsen, K., Cools, A., Crossley, K., Hutchinson, M., Mccrory, P., Bahr, & R., Cook, J. (2017). *Clinical Sports Medicine : Volume 1 : Injuries*. Australia : McGraw-Hill Education.
- Cheung, R. T. H., Zhang, J. H., Chan, Z. Y. S., An, W. W., Au, I. P. H., MacPhail, A., & Davis, I. S. (2019). Shoe-mounted accelerometers should be used with caution in gait

- retraining. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 29 (6), 835-842.
<https://doi.org/10.1111/sms.13396>
- Ching, E., An, W. W.-K., Au, I. P. H., Zhang, J. H., Chan, Z. Y. S., Shum, G., & Cheung, R. T. H. (2018). Impact Loading During Distracted Running Before and After Auditory Gait Retraining. *International Journal of Sports Medicine*, 39(14), 1075-1080.
<https://doi.org/10.1055/a-0667-9875>
- Crowell, H. P., Milner, C. E., Hamill, J., & Davis, I. S. (2010). Reducing impact loading during running with the use of real-time visual feedback. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 40(4), 206-213. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3166>
- Davis, I. S., & Futrell, E. (2016). Gait Retraining: Altering the Fingerprint of Gait. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 27(1), 339-355.
<https://doi.org/10.1016/j.pmr.2015.09.002>
- Dugan, S. A., & Bhat, K. P. (2005). Biomechanics and analysis of running gait. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 16(3), 603-621.
<https://doi.org/10.1016/j.pmr.2005.02.007>
- Ernst, C., Olson, A. K., Pinel, J. P. J., Lam, R. W., & Christie, B. R. (2006). Antidepressant effects of exercise: evidence for an adult-neurogenesis hypothesis? *Journal of Psychiatry & Neuroscience: JPN*, 31(2), 84-92.
- Ferber, R., & MacDonald, S. (2014). *Running mechanics and gait analysis*. United States : Human Kinetics.
- Fredericson, M., Jennings, F., Beaulieu, C., & Matheson, G. O. (2006). Stress fractures in athletes. *Topics in Magnetic Resonance Imaging: TMRI*, 17(5), 309-325.
<https://doi.org/10.1097/RMR.0b013e3180421c8c>
- Gilgen-Ammann, R., Wyss, T., Troesch, S., Heyer, L., & Taube, W. (2018). Positive Effects of Augmented Feedback to Reduce Time on Ground in Well-Trained Runners.

International Journal of Sports Physiology and Performance, 13(1), 88-94.

<https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0746>

Grimshaw, P., & Burden, A. (2015). *Biomécanique du sport et de l'exercice*. France : De Boeck.

Hughes, J. M., Popp, K. L., Yanovich, R., Buxsein, M. L., & Matheny, R. W. (2017). The role of adaptive bone formation in the etiology of stress fracture. *Experimental Biology and Medicine* (Maywood, N.J.), 242(9), 897-906.

<https://doi.org/10.1177/1535370216661646>

Hulme, A., Nielsen, R. O., Timpka, T., Verhagen, E., & Finch, C. (2017). Risk and Protective Factors for Middle- and Long-Distance Running-Related Injury. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.), 47(5), 869-886. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0636-4>

Kahanov, L., Eberman, L. E., Games, K. E., & Wasik, M. (2015). Diagnosis, treatment, and rehabilitation of stress fractures in the lower extremity in runners. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 6, 87-95. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S39512>

Keller, T. S., Weisberger, A. M., Ray, J. L., Hasan, S. S., Shiavi, R. G., & Spengler, D. M. (1996). Relationship between vertical ground reaction force and speed during walking, slow jogging, and running. *Clinical Biomechanics* (Bristol, Avon), 11(5), 253-259.

Lam, W.-K., Liebenberg, J., Woo, J., Park, S.-K., Yoon, S.-H., Cheung, R. T.-H., & Ryu, J. (2018). Do running speed and shoe cushioning influence impact loading and tibial shock in basketball players? *PeerJ*, 6, e4753. <https://doi.org/10.7717/peerj.4753>

Magee, D.J., Manske, R.C., Zachazewski, J.E., & Quillen, W.S. (2011). *Athletic and sport issues in musculoskeletal rehabilitation*. United States : Saunders.

Mann, C. (2003). Observational research methods. Research design II: cohort, cross sectional, and case-control studies. *Emergency Medicine Journal : EMJ*, 20(1), 54-60. <https://doi.org/10.1136/emj.20.1.54>

- Mann, R. A., & Hagy, J. (1980). Biomechanics of walking, running, and sprinting. *The American Journal of Sports Medicine*, 8(5), 345-350.
<https://doi.org/10.1177/036354658000800510>
- McNair, P., & Lewis, G. (2012). Levels of evidence in medicine. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 7(5), 474-481.
- Milner, C. E., Davis, I. S., & Hamill, J. (2006). Free moment as a predictor of tibial stress fracture in distance runners. *Journal of Biomechanics*, 39(15), 2819-2825.
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2005.09.022>
- Milner, C. E., Ferber, R., Pollard, C. D., Hamill, J., & Davis, I. S. (2006). Biomechanical factors associated with tibial stress fracture in female runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(2), 323-328.
<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000183477.75808.92>
- Mitschke, C., Kiesewetter, P., & Milani, T. L. (2018). The Effect of the Accelerometer Operating Range on Biomechanical Parameters: Stride Length, Velocity, and Peak Tibial Acceleration during Running. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(1).
<https://doi.org/10.3390/s18010130>
- Mother, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, DG., (2009). *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement*. PLoS Med 6(7). Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed1000097>
- Napier, C., MacLean, C. L., Maurer, J., Taunton, J. E., & Hunt, M. A. (2018). Kinetic risk factors of running-related injuries in female recreational runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(10), 2164-2172. <https://doi.org/10.1111/sms.13228>
- Napier, Christopher, Cochrane, C. K., Taunton, J. E., & Hunt, M. A. (2015). Gait modifications to change lower extremity gait biomechanics in runners: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 49(21), 1382-1388.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094393>

- Napier, Christopher, MacLean, C. L., Maurer, J., Taunton, J. E., & Hunt, M. A. (2019). Kinematic Correlates of Kinetic Outcomes Associated With Running-Related Injury. *Journal of Applied Biomechanics*, 35(2), 123-130. <https://doi.org/10.1123/jab.2018-0203>
- Napier, Christopher, MacLean, C. L., Maurer, J., Taunton, J. E., & Hunt, M. A. (2019b). Real-Time Biofeedback of Performance to Reduce Braking Forces Associated With Running-Related Injury: An Exploratory Study. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 49(3), 136-144. <https://doi.org/10.2519/jospt.2019.8587>
- Nicola, T. L., & Jewison, D. J. (2012). The anatomy and biomechanics of running. *Clinics in Sports Medicine*, 31(2), 187-201. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2011.10.001>
- Nilsson, J., & Thorstensson, A. (1989). Ground reaction forces at different speeds of human walking and running. *Acta Physiologica Scandinavica*, 136(2), 217-227. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1989.tb08655.x>
- Novacheck, null. (1998). The biomechanics of running. *Gait & Posture*, 7(1), 77-95.
- Pohl, M. B., Mullineaux, D. R., Milner, C. E., Hamill, J., & Davis, I. S. (2008). Biomechanical predictors of retrospective tibial stress fractures in runners. *Journal of Biomechanics*, 41(6), 1160-1165. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.02.001>
- Raper, D. P., Witchalls, J., Philips, E. J., Knight, E., Drew, M. K., & Waddington, G. (2018). Use of a tibial accelerometer to measure ground reaction force in running: A reliability and validity comparison with force plates. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(1), 84-88. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.06.010>
- Saunier, J., & Chapurlat, R. (2018). Stress fracture in athletes. *Joint, Bone, Spine: Revue Du Rhumatisme*, 85(3), 307-310. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2017.04.013>
- Sheerin, K. R., Besier, T. F., Reid, D., & Hume, P. A. (2018). The one-week and six-month reliability and variability of three-dimensional tibial acceleration in runners. *Sports Biomechanics*, 17(4), 531-540. <https://doi.org/10.1080/14763141.2017.1371214>

- Sheerin, K. R., Reid, D., & Besier, T. F. (2019). The measurement of tibial acceleration in runners-A review of the factors that can affect tibial acceleration during running and evidence-based guidelines for its use. *Gait & Posture*, 67, 12-24.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.09.017>
- Taunton, J. E., Ryan, M. B., Clement, D. B., McKenzie, D. C., Lloyd-Smith, D. R., & Zumbo, B. D. (2002). A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 36(2), 95-101.
- Van den Berghe, P., Six, J., Gerlo, J., Leman, M., & De Clercq, D. (2019). Validity and reliability of peak tibial accelerations as real-time measure of impact loading during over-ground rearfoot running at different speeds. *Journal of Biomechanics*, 86, 238-242.
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.01.039>
- van der Worp, H., Vrielink, J. W., & Bredeweg, S. W. (2016). Do runners who suffer injuries have higher vertical ground reaction forces than those who remain injury-free? A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 50(8), 450-457. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094924>
- van Gelder, L. M. A., Barnes, A., Wheat, J. S., & Heller, B. W. (2018). The use of biofeedback for gait retraining: A mapping review. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 59, 159-166. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2018.09.020>
- van Gent, R. N., Siem, D., van Middelkoop, M., van Os, A. G., Bierma-Zeinstra, S. M. A., & Koes, B. W. (2007). Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 41(8), 469-480; discussion 480. <https://doi.org/10.1136/bjism.2006.033548>
- Videbæk, S., Bueno, A. M., Nielsen, R. O., & Rasmussen, S. (2015). Incidence of Running-Related Injuries Per 1000 h of running in Different Types of Runners: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(7), 1017-1026.
<https://doi.org/10.1007/s40279-015-0333-8>

- Walter, S. D., Hart, L. E., McIntosh, J. M., & Sutton, J. R. (1989). The Ontario cohort study of running-related injuries. *Archives of Internal Medicine*, 149(11), 2561-2564.
- Wilder, R. P., & Sethi, S. (2004). Overuse injuries: tendinopathies, stress fractures, compartment syndrome, and shin splints. *Clinics in Sports Medicine*, 23(1), 55-81, vi. [https://doi.org/10.1016/S0278-5919\(03\)00085-1](https://doi.org/10.1016/S0278-5919(03)00085-1)
- Willy, R. W., Buchenic, L., Rogacki, K., Ackerman, J., Schmidt, A., & Willson, J. D. (2016). In-field gait retraining and mobile monitoring to address running biomechanics associated with tibial stress fracture. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(2), 197-205. <https://doi.org/10.1111/sms.12413>
- Willy, Richard W., Meardon, S. A., Schmidt, A., Blaylock, N. R., Hadding, S. A., & Willson, J. D. (2016). Changes in tibiofemoral contact forces during running in response to in-field gait retraining. *Journal of Sports Sciences*, 34(17), 1602-1611. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1125517>
- Winsten, C. J. (1991). Knowledge of results and motor learning--implications for physical therapy. *Physical Therapy*, 71(2), 140-149.
- Wright, A. A., Taylor, J. B., Ford, K. R., Siska, L., & Smoliga, J. M. (2015). Risk factors associated with lower extremity stress fractures in runners: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 49(23), 1517-1523. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094828>
- Yamato, T. P., Saragiotto, B. T., Hespanhol Junior, L. C., Yeung, S. S., & Lopes, A. D. (2015). Descriptors used to define running-related musculoskeletal injury: a systematic review. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 45(5), 366-374. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5750>
- Yamato, T. P., Saragiotto, B. T., & Lopes, A. D. (2015). A consensus definition of running-related injury in recreational runners: a modified Delphi approach. *The Journal of*

Orthopaedic and Sports Physical Therapy, 45(5), 375-380.

<https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5741>

Zadpoor, A. A., & Nikooyan, A. A. (2011). The relationship between lower-extremity stress fractures and the ground reaction force: a systematic review. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 26(1), 23-28. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2010.08.005>

Zhang, J. H., An, W. W., Au, I. P. H., Chen, T. L., & Cheung, R. T. H. (2016). Comparison of the correlations between impact loading rates and peak accelerations measured at two different body sites: Intra- and inter-subject analysis. *Gait & Posture*, 46, 53-56. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.02.002>

Zhang, J. H., Chan, Z. Y. S., Au, I. P. H., An, W. W., & Cheung, R. T. H. (2019). Can runners maintain a newly learned gait pattern outside a laboratory environment following gait retraining? *Gait & Posture*, 69, 8-12. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.01.014>

Zifchock, R. A., Davis, I., & Hamill, J. (2006). Kinetic asymmetry in female runners with and without retrospective tibial stress fractures. *Journal of Biomechanics*, 39(15), 2792-2797. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2005.10.003>

Annexes

1) Annexe I : Équations de recherche pour les bases de données

	Équations de recherche	Nombre de résultats
Medline via pubmed	(((((peak positive acceleration) OR peak tibial acceleration) OR tibial shock) AND impact load) OR loading rates) AND running retraining) OR gait retraining) OR visual feedback) OR biofeedback) AND running	220
PEDro	Gait retraining	54
Embase	(visual AND feedback OR (gait AND retraining) OR (running AND retraining)) AND loading AND rate	34
Cinhal	Idem Pubmed	99
The Cochrane Library	Gait retaining OR running retraining	162

2) Annexe II : Fiches d'extractions de données par article

Auteur	Bowser & al.	
Titre	Reducing Impact Loading in Runners: A One-Year Follow-up	
Année	2018	
Type d'étude	Étude clinique prospective	
Objectifs	Évaluer l'effet à court et long terme d'un programme de gait retraining sur l'impact load chez les coureurs avec un haut impact load. Par extension, le but est de diminuer le risque de blessures chez les coureurs	
Population	Nombre	19
	Sexe	9 hommes, 10 femmes
	Age	26 +/- 7.6
	Sample size	Non
	Inclusion	Après l'accord des participants, un screening initial est fait ainsi qu'une analyse de course à pied (baseline) afin de déterminer les outcomes et de sélectionner :
	Exclusion	- > 8 miles/semaine - Attaque du pied par le talon - PPA > 8g - Pas de blessure au début de l'étude - ???

Intervention	Durée totale	5 semaines (2 de période contrôle et 3 de gait retraining)
	Analyse de course (Baseline et post-intervention)	<u>Au sol</u> 5 essais avec l'accéléromètre sur une jambe puis 5 sur l'autre jambe : Les patients courent à une vitesse de 3.7 m/s sur 25m au travers d'une plateforme de force et avec un accéléromètre au niveau du tibia afin d'obtenir les outcomes
	Matériel	<ul style="list-style-type: none"> - Accéléromètre au niveau antéro-médial distal du tibia - LabVIEW software - Tapis roulant - Plateforme de force au sol - Ecran avec feedback visuel
	Période de contrôle	<p>8 sessions</p> <p>Les participants courent à leur vitesse de choix sur tapis roulant pendant 15mn et ce temps augmente jusqu'à 30mn au fur et à mesure des sessions</p> <p>Nouvelle analyse de course à la fin de cette période (post-control)</p>
	Intervention	<ul style="list-style-type: none"> - 8 sessions - Sur tapis roulant - Accéléromètre au niveau antéro-médial distal du tibia - Courir à sa propre vitesse - Temps de course progressif de 15 à 30mn - Min 1 jour de pause après 2 sessions consécutives - Pas de course en dehors des sessions
	Feedback	<ul style="list-style-type: none"> - Feedback visuel sur la PPA (TS) - Coureurs doivent garder la PPA en dessous du 50% de leur TS initial relevée au départ (baseline) - 100% de feedback lors des 4 premières sessions puis diminution graduelle jusqu'à uniquement 3mn de feedback lors de la dernière session - Analyse de course à pied à la fin
	Follow-up	Coureurs retournent au laboratoire à 1, 6 et 12 mois pour une analyse de course
Outcomes	PPA / TS (g)	Diminution significative de 32% entre valeurs de post-control et post-intervention
	VALR (BW/s)	Diminution significative de 25% entre valeurs de post-control et post-intervention
	VILR (BW/s)	Diminution significative de 27% entre valeurs de post-control et post-intervention

	Vertical Impact peak (BW)	Diminution significative de 21% entre valeurs de post-control et post-intervention
	Follow-up	Persistance de la diminution significative de la PPA, VILR et VALR à 1, 6 et 12 mois
Conclusion	<p>Le programme de gait retraining diminue l'impact load et tous les outcomes sélectionnés de manière significative. L'effet persiste de manière significative dans le temps pour les outcomes.</p> <p>Cette intervention peut donc se révéler bénéfique pour diminuer le risque de blessures chez les coureurs, en particulier la fracture de stress tibiale</p>	

Auteur	Chan & al.	
Titre	Gait retraining for the reduction of injury occurrence in novice distance runners : 1-Year Follow-up of a randomized controlled Trial	
Année	2017	
Type d'étude	Essai clinique randomisé	
Objectifs	Évaluer les composantes du vertical loading rate avant et après un programme de gait retraining et évaluer l'effet de ce programme sur l'occurrence des blessures chez des coureurs amateurs.	
Population	Nombre	320
	Sexe	158 hommes, 162 femmes
	Age	33.6 +/- 9.5
	Sample size	Oui
	Inclusion	Après l'accord des participants, un screening initial est fait ainsi qu'une analyse de course à pied (baseline) afin de déterminer les outcomes et de sélectionner : <ul style="list-style-type: none"> - < 2 ans de pratique de course à pied - > 8 km/semaine - Age entre 18 et 50 ans - VALR > 70 BW/s - Pas de blessure les 6 derniers mois
	Exclusion	<ul style="list-style-type: none"> - VALR < 70 BW/s - Blessures au moment de l'étude
Intervention	Durée totale	2 semaines
	Analyse de course (Baseline et post-intervention)	<p><u>Sur tapis roulant</u></p> <p>Les patients courent avec leurs chaussures. Il est demandé de premièrement courir à 8km/h puis à 12km/h pendant 5mn à chaque vitesse.</p> <p>La GRF et les outcomes sont mesurés la dernière minute de course.</p>

Intervention (2/2)	Randomisation	Après l'analyse initiale de course, les coureurs sont assignés de manière randomisée au groupe contrôle ou au groupe « gait retraining ».
	Matériel	<ul style="list-style-type: none"> - LabVIEW software - Tapis roulant avec plateforme de force - Ecran avec feedback visuel
	Traitement	<ul style="list-style-type: none"> - 8 sessions, 4 par semaine - Sur tapis roulant - Courir à sa propre vitesse - Temps de course progressif de 15 à 30mn
	Feedback	<ul style="list-style-type: none"> - Feedback visuel sur le vertical impact peak (VIP) - Coureurs doivent diminuer la VIP avec comme consigne « run softer » afin de diminuer l'amplitude du VIP - 100% de feedback lors des 4 premières sessions puis diminution graduelle jusqu'à uniquement 3mn de feedback lors de la dernière session - Analyse de course à pied à la fin
	Groupe contrôle	<ul style="list-style-type: none"> - 8 sessions, 4 par semaine - Courir sur tapis roulant pendant la même durée que le groupe traitement mais sans feedback. - Analyse de course à pied à la fin
	Follow-up	Tous les coureurs doivent remplir un formulaire sur l'occurrence des blessures 6 mois avant l'étude puis chaque mois durant 12 mois après l'étude
Outcomes	VALR (BW/s)	<ul style="list-style-type: none"> - Différence significative à 8 et 12km/h entre le groupe contrôle et le groupe gait retraining après le programme de course (post-intervention) - Diminution significative à 8 et 12km/h avant et après l'intervention pour le groupe « gait retraining » - Augmentation significative uniquement à 12km/h en comparant avant et après le programme pour le groupe contrôle
	VILR (BW/s)	<ul style="list-style-type: none"> - Différence significative à 8 et 12km/h entre le groupe contrôle et le groupe gait retraining après le programme de course (post-intervention) - Diminution significative à 8 et 12km/h avant et après l'intervention pour le groupe « gait retraining »

		- Augmentation significative à 8 et 12km/h en comparant avant et après le programme pour le groupe contrôle
	Follow-up	62% d'incidence de blessures en moins dans le groupe « gait retraining » à 12 mois comparé au groupe contrôle
Conclusion	<p>Le programme de gait retraining diminue l'impact load et tous les outcomes sélectionnés de manière significative chez les coureurs amateurs.</p> <p>Le plus important est que l'apparition de blessures chez les coureurs du groupe « gait retraining » est 62% plus faible que le groupe contrôle.</p>	

Auteur	Clansey & al.	
Titre	Influence of Tibial Shock Feedback Training on Impact Loading and Running Economy	
Année	2014	
Type d'étude	Essai clinique randomisé	
Objectif	Déterminer si l'entraînement avec feedback en temps réel (RTF) diminuerait les variables de la charge d'impact ; précédemment mise en lien avec un risque de fracture de stress tibiale et si les adaptations influenceraient l'économie de course.	
Population	Nombre	22
	Sexe	Hommes
	Age	<ul style="list-style-type: none"> - Feedback : 33.3±9.0 - Contrôle : 33.9±11.3
	Sample size	Non
	Inclusion	<ul style="list-style-type: none"> - Au moins 30km /semaine de course à pied. - Pas de blessures durant les 6 derniers mois - PPA > 9g - Attaque du pied par le talon - Coureurs récréatifs
	Exclusion	<ul style="list-style-type: none"> - Antécédents de blessure musculosquelettique majeure modifiant la démarche (exemple : rupture LCA et pathologie cardio-vasculaire).
Intervention	Durée totale	3 semaines
	Analyse de course (Baseline et post-intervention)	<p><u>Au sol</u></p> <p>Préalablement un accéléromètre triaxial est fixé au niveau antéro-médial du tibia droit en distal. Des marqueurs anatomiques sont également positionnés sur les crêtes iliaques et les EIAS afin de définir et pister le segment pelvien, puis des marqueurs sont mis sur la première et cinquième tête du métatarse ainsi qu'au niveau du talon et les bases des premier et cinquième métatarse.</p>

Intervention (2/2)		<p>Avant de débiter l'analyse à proprement dit, les participants s'échauffent pendant 5 minutes et sont familiarisés à courir à la vitesse demandée de 3.7 m/s ($\pm 5\%$).</p> <p>Accéléromètre triaxial attaché au niveau antéro-médial distal du tibia.</p> <p>Les participants doivent effectuer six essais de course sur sol acceptables à vitesse de 3.7 m/s sur une distance de 15 mètres.</p> <p>Les participants peuvent utiliser leurs propres chaussures de course. Il leur est demandé de ne pas courir 24h précédant l'analyse de course.</p>
	Randomisation	Après l'analyse initiale (baseline), les coureurs sont randomisés dans le groupe contrôle et le groupe « RTF » (real-time feedback).
	Matériel	<ul style="list-style-type: none"> - Accéléromètre triaxial - Kinesiology tape - Shorts serrés en lycra - 12 caméras infra-rouges avec système de capture du mouvement (Oqus 3 ; Qualisys, Sweden) - Set de marqueurs passifs rétro réfléchissants. - Plateforme de force (Kistler Instruments Limited; Switzerland) synchronisée avec les systèmes d'accéléromètres et de mouvements. - Brower Timing Systems, UK - Qualysis Track Manager - Visual 3D (C-motion Inc., USA) - LabVIEW program - Pneumotech Quark cPET, Cosmed. - Tapis roulant
	Intervention	<ul style="list-style-type: none"> - 6 sessions sur 3 semaines à raison d'environ 35 minutes par séance. - Course sur tapis roulant pendant 20 minutes à 3.7m/s avec un feedback visuel et auditif en continu si dans groupe « RTF ». - Environ 15 minutes de la session sont du temps personnel pour l'échauffement et la récupération personnelle. - Autorisation de courir en dehors des séances, mais pas 24h avant. - Durant la période entre l'évaluation post-entraînement et un mois follow-up, tous les participants ont l'instruction de maintenir leur régime d'entraînement

Intervention (3/3)		type (3-4 séances de course par semaine avec ≥ 30 km/semaine).
	Feedback	<p>La variable du feedback est basée sur les valeurs de PTA des participants lorsqu'ils courent. Un algorithme afin de détecter les pics est utilisé pour identifier la PTA durant la posture. L'algorithme acceptait un pic s'il a une valeur plus élevée que 3g et si les nouvelles valeurs de data valent moins de -1g. Toutefois, si ces conditions ne sont pas rencontrées, l'algorithme ignore le pic actuel et recherche le prochain pic disponible au sein du flux de data en temps réel. Lorsqu'une valeur acceptable de PTA est détectée, elle est conservée dans une boucle continue qui contient cinq valeurs de PTA précédentes. Le feedback est calculé sur une moyenne mobile de 5 valeurs de PTA précédentes et il est présenté au participant chaque 5^{ème} foulée consécutive durant la course.</p> <p>Le feedback visuel est sous forme d'écran large de 5 mètres avec des lumières rouges, orange et verte données à partir des valeurs de PTA face au patient. Pendant ce temps, un feedback auditif est délivré via des haut-parleurs externes depuis le laboratoire principal.</p> <p>Les valeurs de PTA de base sont utilisées en tant que critère pour définir les trois modalités de feedback ; de haut choc (1), de choc moyen (2) et de choc de niveau acceptable (3).</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) Valeurs de PTA au-delà de 75% des valeurs de base. (2) Entre 50-75% des valeurs PTA de base. (3) Moins de 50% des valeurs PTA de base (caractéristique du niveau acceptable de choc). <p>Le format visuel du feedback est sous forme de feu de signalisation. Lorsque les coureurs ont un choc (1), la lumière rouge s'allume, tandis que s'il se trouve dans le choc (2), la lumière orange s'illumine et lors de choc (3) la lumière verte est visible. En supplément, les valeurs de PTA moyennes sont présentées visuellement en même temps que la lumière de couleur ainsi que le feedback auditif.</p>

		Aucune instruction est donnée quant à la stratégie à adopter pour courir dans l'intervalle de choc souhaité/demandé.
	Groupe contrôle	Même procédure que le groupe RTF sans feedback visuel.
	Follow-up	<ul style="list-style-type: none"> - Post-training (intervalle de 1-2 jours après la fin du réentraînement) - 1 mois post-entraînement
Outcomes	PTA (g)	Diminution significative dans groupe RTF entre pré- et post- intervention
	VALR (BW/s)	Diminution significative dans groupe RTF
	VILR (BW/s)	Diminution significative dans groupe RTF
	Follow-up (1 mois)	Maintien d'une différence significative dans groupe RTF entre pré-intervention et 1 mois post uniquement pour la PTA
Conclusion	<p>Le feedback est efficace quant à la réduction d'ordre de grandeur du choc tibial lors des mesures post-entraînement et un mois post-entraînement. Toutefois, les valeurs de VILR/VALR sont revenues aux valeurs de départ à un mois suivant l'entraînement.</p> <p>Il reste à établir si les adaptations significatives pour réduire la sévérité de l'impact au sol lors de la course peuvent être maintenues au long-terme.</p> <p>Cette étude montre des changements significatifs sur le changement de la kinématique dans le groupe intervention ; RTF, en comparaison avec aucun changement de la kinématique dans le groupe contrôle.</p>	

Auteur	Cheung & al.	
Titre	Control of impact loading during distracted running before and after gait retraining in runners	
Année	2018	
Type d'étude	Étude clinique prospective	
Objectifs	Comparer la PPA et les composantes du vertical loading rate durant distraction lors de la course avant et après un programme de gait retraining	
Population	Nombre	16
	Sexe	11 hommes, 5 femmes
	Age	28.3 +/- 6.2
	Sample size	Non
	Inclusion	<p>Après l'accord des participants, un screening initial est fait ainsi qu'une analyse de course à pied (baseline) afin de déterminer les outcomes et de sélectionner :</p> <ul style="list-style-type: none"> - > 15 km/semaine - Coureurs récréatifs - PPA > 10g - Pas de blessure au début de l'étude
	Exclusion	- Historique d'opération des membres inférieurs

		- Problème neurologique
Intervention	Durée totale	2 semaines
	Analyse de course (Baseline et post-intervention)	<p><u>Sur tapis roulant</u></p> <p>Les patients courent à la vitesse de leur choix avec des chaussures standardisées (Adizero Boost, Adidas) pendant 3mn afin d'obtenir la PPA initiale afin d'en définir une valeur seuil. La PPA est mesurée et moyennée lors des 20 derniers cycles de course de l'essai.</p> <p>Le test effectué initialement (baseline) puis suite à l'intervention est construit de la manière suivante : il est demandé de courir plus légèrement (« run softer ») durant une distraction (tâche cognitive et verbale) avec l'inclusion d'un feedback visuel sur la PPA pendant 3mn puis sans feedback pendant 3mn dans un ordre randomisé. Les outcomes (PPA et loading rates) sont mesurés lors des 20 derniers cycles de course de l'essai.</p>
	Matériel	<ul style="list-style-type: none"> - Accéléromètre triaxial au niveau de la partie postérieure du talon et aligné à l'axe du tibia - LabVIEW software - Tapis roulant avec plateforme de force - Écran avec feedback visuel
	Intervention	<ul style="list-style-type: none"> - 8 sessions, 4 par semaine - Sur tapis roulant - Accéléromètre placé - Courir à sa propre vitesse - Temps de course progressif de 15 à 30mn - Nouvelle analyse de la course dans la semaine suivant la fin des 8 sessions
	Feedback	<ul style="list-style-type: none"> - Feedback visuel sur la PPA - Coureurs doivent garder la PPA en dessous du 80% de leur TS initial relevée au départ (baseline) - 100% de feedback lors des 4 premières sessions puis diminution graduelle jusqu'à uniquement 3mn de feedback lors de la dernière session
	Follow-up	Non
Outcomes	PPA (g)	<p>Diminution significative de l'outcome avant et après le programme de gait retraining lors des tests effectués avec et sans feedback visuel.</p> <p>Lors des tests, l'outcome est diminué de manière significative lors de la présence</p>

		d'un feedback visuel comparé à sans feedback visuel. Ceci est valable avant et après l'intervention de gait retraining.
	VALR (N/kg/s)	<p>Diminution significative de l'outcome avant et après le programme de gait retraining lors des tests effectués avec et sans feedback visuel.</p> <p>Lors des tests, l'outcome est diminué de manière significative lors de la présence d'un feedback visuel comparé à sans feedback visuel. Ceci est valable avant et après le l'intervention de gait retraining.</p>
	VILR (N/kg/s)	<p>Diminution significative de l'outcome avant et après le programme de gait retraining lors des tests effectués avec et sans feedback visuel.</p> <p>Lors des tests, l'outcome est diminué de manière significative lors de la présence d'un feedback visuel comparé à sans feedback visuel. Ceci est valable avant et après le l'intervention de gait retraining.</p>
Conclusion	<p>Le programme de gait retraining diminue l'impact load et tous les outcomes sélectionnés de manière significative. Cette diminution est maintenue dans des conditions de distractions.</p>	

Auteur	Crowell & Davis	
Titre	Gait retraining to reduce lower extremity loading in runners	
Année	2011	
Type d'étude	Étude clinique prospective	
Objectifs	Évaluer l'effet d'un programme de course à pied avec feedback visuel sur la diminution de l'impact load chez les coureurs avec également l'évaluation de la persistance d'un éventuel changement à court terme	
Population	Nombre	10
	Sexe	4 hommes, 6 femmes
	Age	26 +/- 7
	Sample size	Non
	Inclusion	<p>Après l'accord des participants, un screening initial est fait ainsi qu'une analyse de course à pied (baseline) afin de déterminer les outcomes et de sélectionner :</p> <ul style="list-style-type: none"> - > 16 km/semaine - Attaque du pied par le talon

		<ul style="list-style-type: none"> - Coureurs récréatifs - PPA > 8g - Pas de blessure au début de l'étude
	Exclusion	- ???
Intervention	Durée totale	2 semaines
	Analyse de course (Baseline et post-intervention)	<p><u>Au sol</u></p> <p>Les coureurs ont un accéléromètre aligné à l'axe distale du tibia. Ils ont des chaussures standardisées.</p> <p>Il est demandé de courir à une vitesse de 3.7m/s sur une distance de 23 mètres durant laquelle les coureurs traversent une plateforme de force au sol.</p>
	Matériel	<ul style="list-style-type: none"> - Accéléromètre au niveau antéro-médial distal du tibia - LabVIEW software - Tapis roulant - Plateforme de force au sol - Ecran avec feedback visuel
	Intervention	<ul style="list-style-type: none"> - 8 sessions - Sur tapis roulant - Accéléromètre au niveau antéro-médial distal du tibia - Courir à sa propre vitesse - Courir avec ses propres chaussures - Temps de course progressif de 15 à 30mn au fur et à mesure des séances - 1 jour de pause entre 2 sessions du programme - Pas de course en dehors des sessions - Analyse de course à pied 1h après la dernière session de programme (post-intervention) - Examen subjectif de la douleur avant chaque session du programme
	Feedback	<ul style="list-style-type: none"> - Feedback visuel sur la PPA - Coureurs doivent garder la PPA en dessous du 50% de la moyenne des valeurs de PPA relevée lors du début de la 1^{ère} session. - 100% de feedback lors des 4 premières sessions puis diminution graduelle jusqu'à uniquement 3mn de feedback lors de la dernière session.
	Follow-up	Reprise de course à pied (min 16km/sem) et les coureurs retournent au laboratoire à 1 mois pour une analyse de course
Outcomes	PPA / TS (g)	Diminution significative de 48% entre valeurs de baseline et post-intervention

	VALR (BW/s)	Diminution significative de 32% entre valeurs de baseline et post-intervention
	VILR (BW/s)	Diminution significative de 34% entre valeurs de post-control et post-intervention
	Douleur	8 coureurs présentent une douleur ou gêne durant le programme de course à pied mais qui ne persiste pas après quelques sessions.
	Follow-up	Persistance de la diminution significative de la PPA, VILR et VALR à 1 mois comparé aux valeurs de baseline. Pas de différence significative entre les valeurs post-intervention et à 1 mois. Aucun coureur exprime une gêne ou une douleur.
Conclusion	Le programme de course à pied avec feedback visuel diminue tous les outcomes sélectionnés de manière significative. Ces diminutions persistent 1 mois après la fin du programme de course à pied. Cette intervention peut donc se révéler bénéfique pour diminuer le risque de la fracture de stress tibiale. Il est cependant nécessaire d'évaluer de plus longs follow-ups	

3) Annexe III : Tableaux communs d'extractions de données

a) Intervention

	Intervention	Contrôle	Follow-up
Chan et al. (2018) RCT	2 semaines, 8 sessions (4/sem) - Courir à sa propre vitesse - Temps de course progressif de 15 à 30mn - Feedback visuel sur le vertical impact peak - Consigne « run softer » pour diminuer le VIP - 100% de feedback (4 séances) puis diminution progressive (3mn à la fin)	Idem sans feedback	Formulaire sur l'apparition de blessures 1x par mois durant 12 mois.
Cheung et al. (2018) Étude clinique prospective	2 semaines, 8 sessions (4/sem) - Courir à sa propre vitesse - Chaussures standardisées - Temps de course progressif de 15 à 30mn - Feedback visuel sur la PPA - Coureurs doivent garder la PPA < 80% valeur seuil relevée au départ (baseline) - 100% de feedback (4 séances) puis diminution progressive (3mn à la fin)	Pas de groupe	Pas de Follow-up

Clansey et al. (2014) RCT	3 semaines, 6 sessions - 20mn de course à 3.7m/s - Feedback visuel et auditif sur PPA en continu - Maintenir PPA < du 50% de leur PPA initiale - Autorisation de courir en dehors des séances, pas 24h avant les tests	Idem mais sans feedback	Analyse de course à 1 mois
Browser et al. (2018) Étude clinique prospective	5 semaines (2 de contrôle et 3 d'intervention) - 8 sessions - Courir à sa propre vitesse - Temps de course progressif de 15 à 30mn - Feedback visuel sur la PPA - Maintenir PPA < du 50% de leur PPA initial - 100% de feedback (4 séances) puis diminution progressive (3mn à la fin) - Min 1 jour de pause après 2 sessions - Pas de course en dehors des sessions	Pas de groupe	Analyse de course à 1, 6 et 12 mois
Crowell & Davis (2011) Étude clinique prospective	2 semaines, 8 sessions - Courir à sa propre vitesse et ses propres chaussures - Temps de course progressif de 15 à 30mn - Feedback visuel sur la PPA - Maintenir PPA < du 50% de la moyenne de PPA relevée au début de la 1ère session. - 100% de feedback (4 séances) puis diminution progressive (3mn à la fin) - Min 1 jour de pause entre 2 sessions - Pas de course en dehors des sessions	Pas de groupe	Analyse de course à 1 mois

b) Outcomes et outils de mesure

	Outcomes	Outils de mesure et tests
Chan et al. (2018)	VALR (BW/s); VILR (BW/s)	- Analyse de course à 8 et 12km/h - Plateforme de force et tests sur <u>tapis roulant</u>
Cheung et al. (2018)	PPA (g); VALR (N/kg/s); VILR (N/kg/s)	- Analyse de course avec distraction + avec/sans feedback - Accéléromètre triaxial - Plateforme de force et tests sur <u>tapis roulant</u>
Clansey et al. (2014)	PPA (g); VALR (BW/s); VILR (BW/s)	- Accéléromètre triaxial - Plateforme de force et tests <u>au sol</u> - Pas de course 24h avant tests
Browser et al. (2018)	PPA (g); VALR (BW/s); VILR (BW/s); VIP (BW)	- Accéléromètre - Plateforme de force et tests <u>au sol</u>
Crowell & Davis (2011)	PPA (g); VALR (BW/s); VILR (BW/s); VIP (BW) Examen subjectif de la douleur	- Accéléromètre - Plateforme de force et tests <u>au sol</u>

4) Annexe IV : Échelles de qualités

a) PEDro

Items	Clansey et al. (2014)	Chan et al. (2018)
Critères d'éligibilité	X	X
Répartition aléatoire dans les groupes	X	X
Assignation secrète	Ø	X
Groupes similaires	X	X
Tous les sujets étaient en « aveugle »	Ø	Ø
Thérapeutes en « aveugle »	Ø	Ø
Examineurs en « aveugle »	Ø	Ø
Les mesures pour au moins un des critères de jugement essentiel ont été obtenus pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes	Ø	Ø
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 essentiel ont été analysés "en intention de traiter"	X	X
Les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels	X	X
Pour au moins un des critères essentiel, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité	X	X
Score PEDro (sans critère d'éligibilité)	5/10	6/10

X : point mis

Ø : élément absent

b) STROBE

Item	Bowser et al. (2018)					Cheung et al. (2018)					Crowell & Davis (2011)				
Title and abstract	1a. ∅		1b. X			1a. ∅		1b. X			1a. ∅		1b. X		
Introduction															
Background	X					X					X				
Objectives	X					X					X				
Methods															
Study design	X					X					X				
Setting	X					X+∅					X + ∅				
Participants	X					X					X				
Variables	X					X					X				
Data sources / measurements	X					X					X				
Bias	X					∅					∅				
Study size	X					∅					X + ∅				
Quantitative variables	x					X					X				
Statistical methods (12)	a. X	b. X	c. ∅	d. X	e. X	a. X	b. X	c. ∅	d. ∅	e. ?	a. X	b. X	c. ∅	d. ∅	e. ?
Results															
Participants	13a. X		13b. X		13c. X	13a. X+∅		13b. ∅		13c. ∅	13a. X + ∅		13b. ∅		13c. ∅
Descriptive data	14a. X		14b. X			14a. X		14b. X			14a. X		14b. X		
Outcome data	X					X					X				
Main results	16a. X		16b. X		16c. ?	16a. X + ∅		16b. ∅		16c. ∅	16a. X + ∅		16b. ∅		16c. ∅
Other analysis	∅					∅					∅				
Discussion															
Key results	X					X					X				
Limitations	X+∅					X					X				
Interpretation	X					X					X				
Generalisability	X					X					X				
Other information															
Funding	X					X					X				

X : point mis

Ø : élément absent

X+ Ø : moyennement concluant

? : non définissable

c) MCMaster

Item	Chan et al. (2018) RCT	Cheung et al. (2018) Prospective	Clansey et al. (2014) RCT	Bowser et al. (2018) Prospective	Crowell & Davis (2011) Prospective
Study purpose	X	X	X	X	X
Literature	X	X	X	X	X
Sample description in detail	X	X	X	X	X
Sample justified	X	Ø	Ø	X	X
Outcome measures reliable	X	X	X	X	X
Outcome measures valid	X	X	X	X	X
Intervention described in detail	X	X	X	X	X
Contamination avoided	NADD	NA	NADD	NA	NA
Cointervention avoided	NADD	NA	NADD	X	NA
Results were reported as statistical significance	X	X	X	X	X
Analysis method appropriate	X	Ø	Ø	Ø	Ø
Clinical importance was reported	X	NADD	X	X+Ø	X
Drop-outs were reported	X	X	X	X	Ø
Conclusions were appropriate given study methods and results	Ø	X	X	X	X

X: Oui

Ø: Non

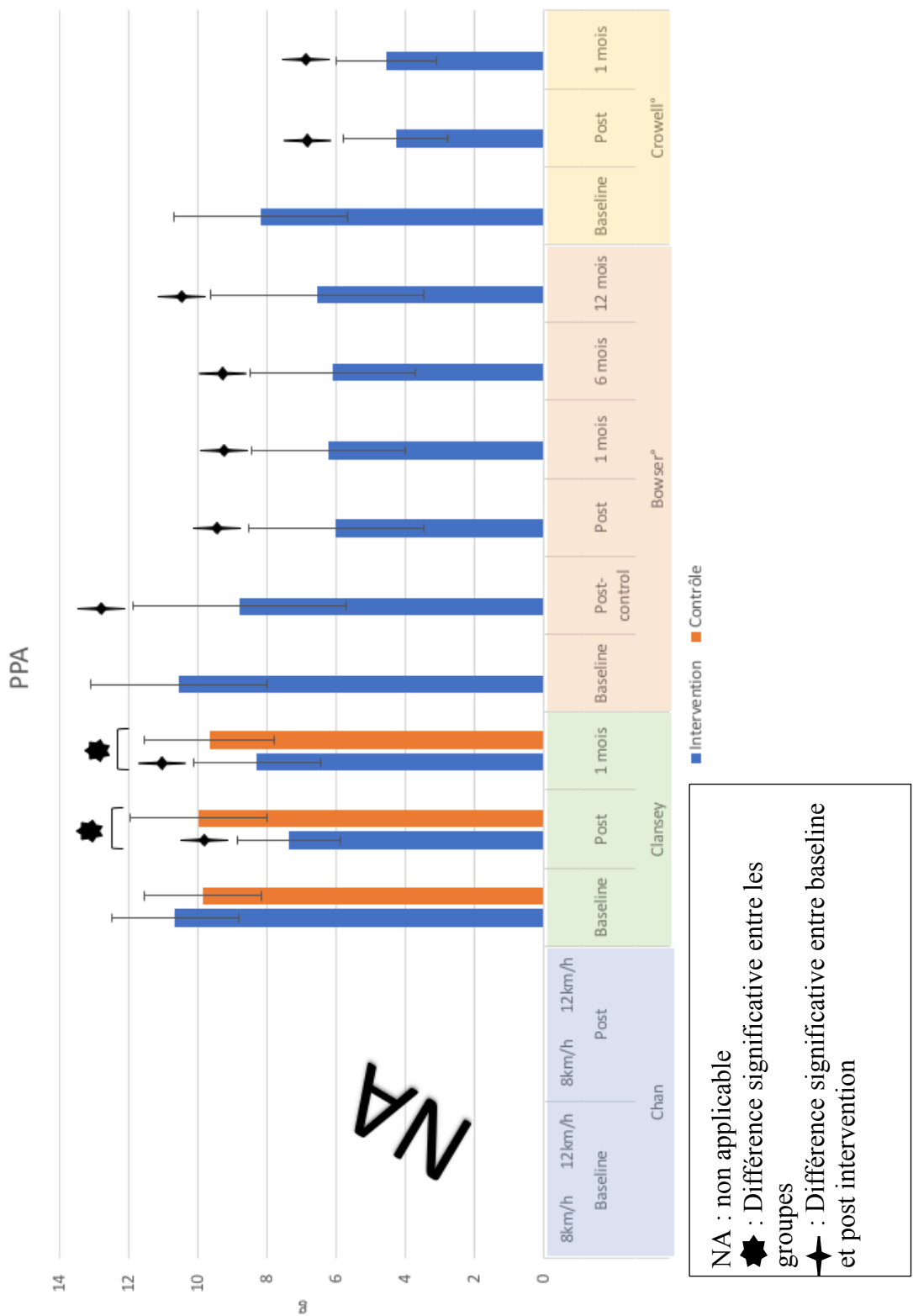
NADD: Not addressed

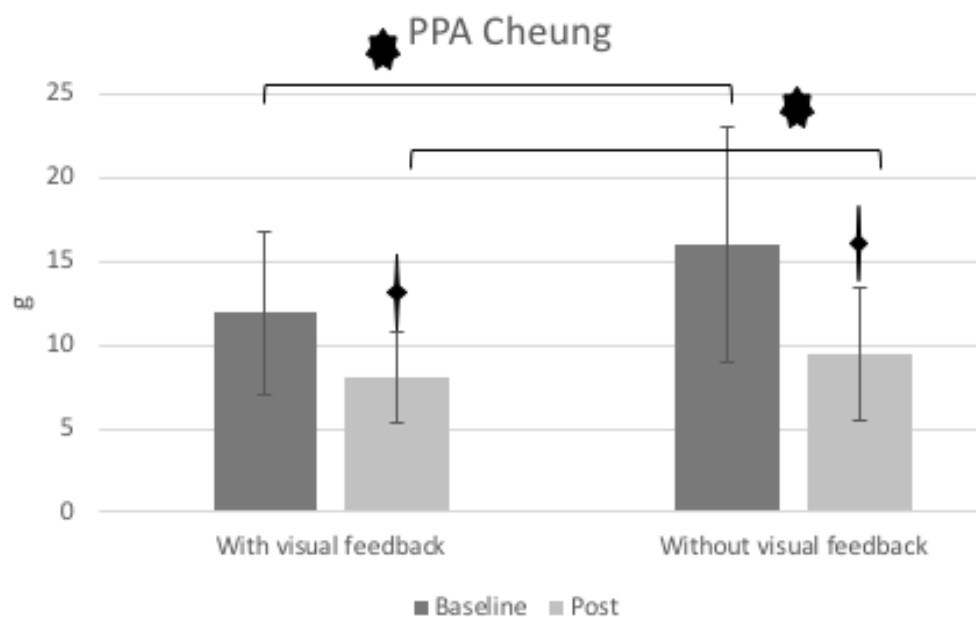
NA: not available

X+Ø: Oui et non

5) Annexe V : Graphiques des résultats

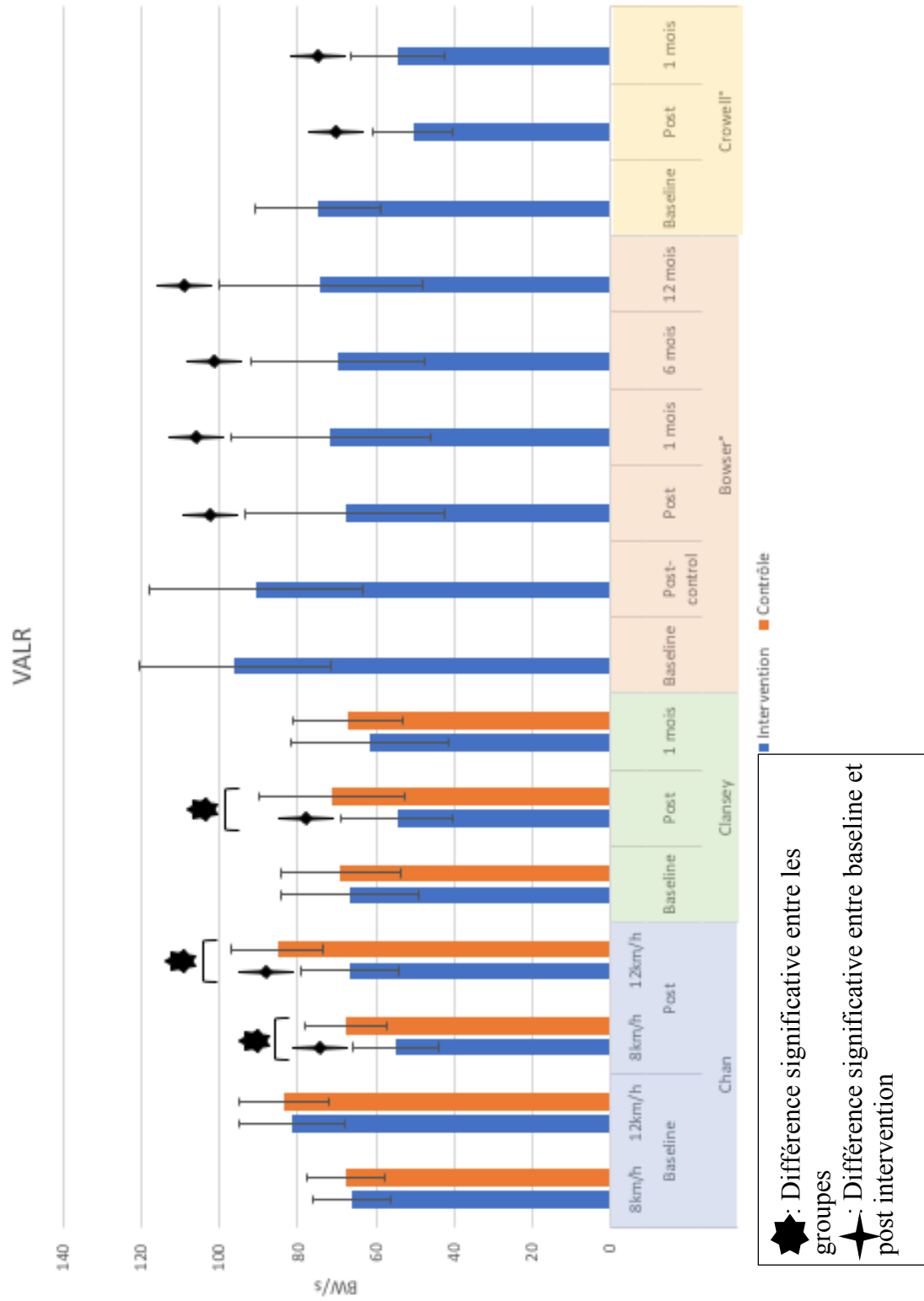
a) PPA

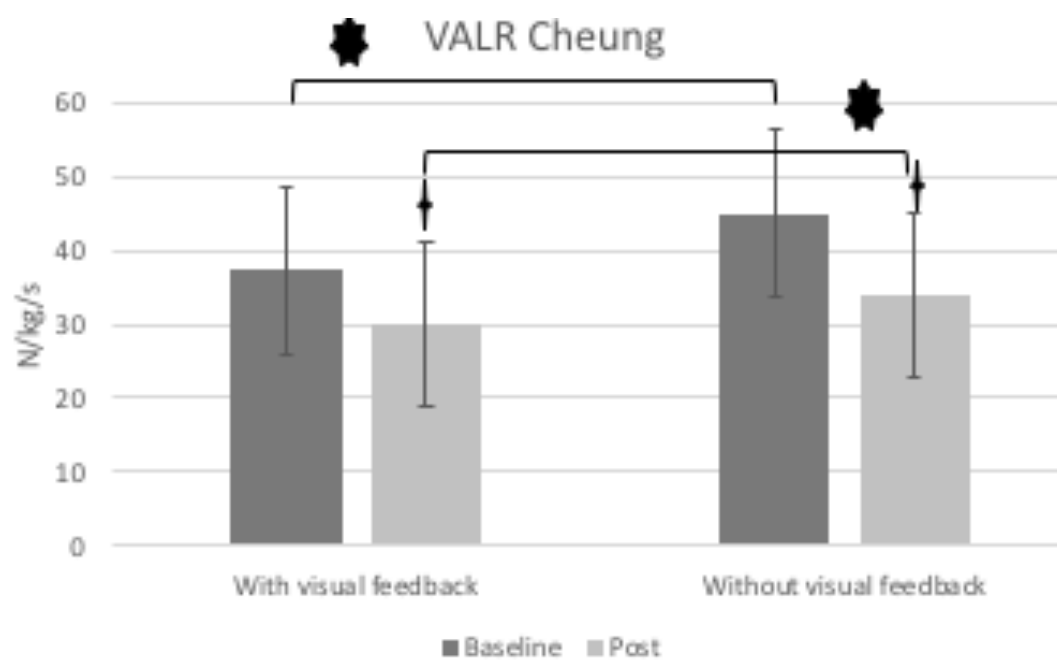




★ : Différence significative entre baseline et post-intervention
 ✦ : Différence significative entre avec et sans feedback

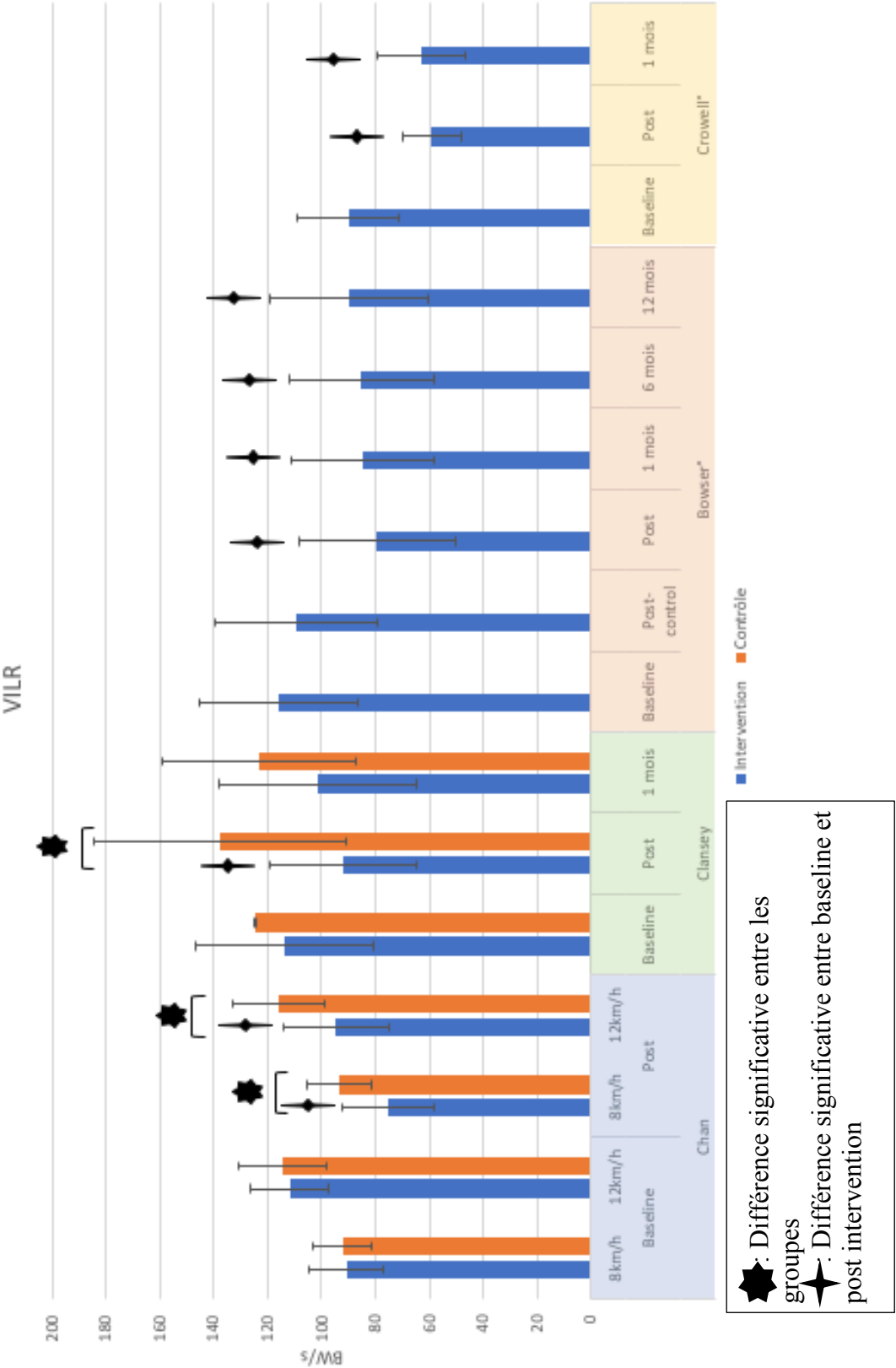
a) VALR

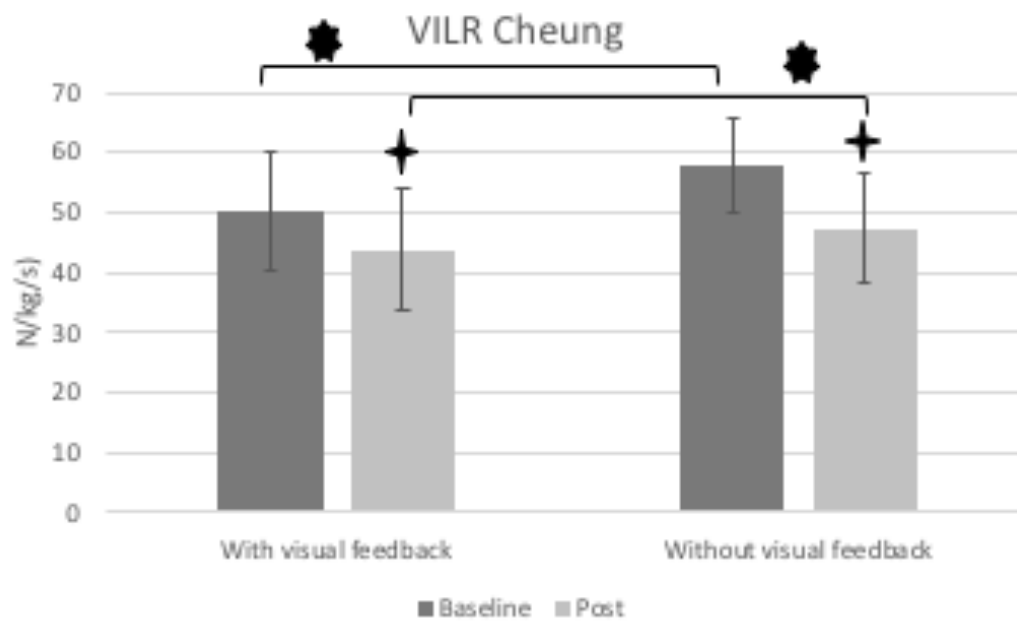




★ : Différence significative entre baseline et post-intervention
 ★ : Différence significative entre avec et sans feedback

c) VILR





★ : Différence significative entre baseline et post-intervention
 ✦ : Différence significative entre avec et sans feedback

6) Annexe VI : Résultats des Follow-up

a) Follow-up à 1 mois pour les RCT

Articles	Outcome	Groupes	n	Baseline	1 mois	Δ (%)	P inter-group
Chan & al. (2018)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Clansey & al. (2014)	VILR (BW/s)	I	12	113,87 (33,01)	101,63 (36,76)	-10,75	◇
		C	11	124,61 (26,97)	123,18 (35,56)	-1,15	
Clansey & al. (2014)	VALR (BW/s)	I	12	66,54 (17,45)	61,38 (20,15)	-7,75	◇
		C	11	69,07 (15,17)	67,14 (14,14)	-2,79	
Clansey & al. (2014)	PPA (g)	I	12	10,67 (1,85)	8,30 (1,82)	-22,21*	< 0.001
		C	11	9,78 (1,68)	9,68 (1,87)	-1,02	

NA : non applicable, l'outcome n'a pas été mesuré

* : Différence significative avant/après

◇ : Non significatif

(SD) : Déviation standard

n : Nombre de participants

Δ (%) : Pourcentage d'amélioration entre avant/après. Valeurs négatives = amélioration. Valeurs positives = régression

b) Follow-up à 1 mois pour les études clinique prospectives

Articles	Outcomes	n	Baseline (SD)	1 mois follow-up (SD)	Δ(%)
Crowell & al. (2011)	VILR (BW/s)	10	90,06 (18,63)	62,81 (16,33)	-30,26*
	VALR (BW/s)	10	74,84 (15,92)	54,4 (11,77)	-27,31*
	PPA (g)	10	8,19 (2,52)	4,57 (1,46)	-44,20*
Bowser & al. (2018)	VILR (BW/s)	19	109,51 (30,26)	84,84 (26,60)	-22,53*
	VALR (BW/s)	19	90,60 (27,34)	71,50 (25,63)	-21,08*
	PPA (g)	19	8,82 (3,08)	6,24 (2,21)	-29,25*
Cheung & al. avec feedback visuel (2018)	VILR (N/kg/s)	16	50,29 (10,04)	NA	NA
	VALR (N/kg/s)	16	37,26 (11,28)	NA	NA
	PPA (g)	16	11,92 (4,90)	NA	NA
Cheung & al. sans feedback visuel (2018)	VILR (N/kg/s)	16	57,80 (7,74)	NA	NA
	VALR (N/kg/s)	16	45,01 (11,48)	NA	NA
	PPA (g)	16	16,05 (7,03)	NA	NA

NA : non applicable, l'outcome n'a pas été mesuré

* : Différence significative avant/après

(SD) : Déviation standard

n : Nombre de participants

Δ (%) : Pourcentage d'amélioration entre avant/après. Valeurs négatives = amélioration. Valeurs positives = régression

c) Follow-up étude Bowser et al. (2018)

Post-control → post-intervention			
PPA (g)			
Post-control (SD)	Post-intervention (SD)	Δ (%)	valeur p (pré-post)
8,82 (3,08)	6,02 (2,54)	-31,75*	<0,001*
VILR (BW/s)			
109,51 (30,26)	79,59 (28,97)	-27,32*	<0,001*
VALR (BW/s)			
90,60 (27,34)	67,65 (25,51)	-25,33*	0,002*
Post-control → 1 mois			
PPA (g)			
Post-control (SD)	1 mois (SD)	Δ (%)	valeur p
8,82 (3,08)	6,24 (2,21)	-29,25*	<0,001*
VILR (BW/s)			
109,51 (30,26)	84,84 (26,60)	-22,53*	0,003*
VALR (BW/s)			
90,60 (27,34)	71,50 (25,63)	-21,08*	0,009*
Post-control → 6 mois			
PPA (g)			
Post-control (SD)	6 mois (SD)	Δ (%)	valeur p
8,82 (3,08)	6,11 (2,40)	-30,73*	0,05*
VILR (BW/s)			
109,51 (30,26)	85,16 (26,74)	-22,24*	<0,01*
VALR (BW/s)			
90,60 (27,34)	69,79 (22)	-22,97*	<0,01*
Post-control → 12 mois			
PPA (g)			
Post-control (SD)	12 mois (SD)	Δ (%)	valeur p
8,82 (3,08)	6,56 (3,07)	-25,62*	0,05*
VILR (BW/s)			
109,51 (30,26)	89,60 (29,41)	-18,18*	0,05*
VALR (BW/s)			
90,60 (27,34)	74,08 (25,89)	-18,23*	0,05*

* : Différence significative avant/après

(SD) : Déviation standard

Δ (%) : Pourcentage d'amélioration entre avant/après. Valeurs négatives = amélioration. Valeurs positives = régression