



HAL
open science

La pliométrie et le contrôle postural dans l'instabilité chronique de cheville

Sandy Dubau

► **To cite this version:**

Sandy Dubau. La pliométrie et le contrôle postural dans l'instabilité chronique de cheville. Médecine humaine et pathologie. 2022. dumas-03958192

HAL Id: dumas-03958192

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03958192v1>

Submitted on 26 Jan 2023

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

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

**LA PLIOMÉTRIE ET LE CONTRÔLE POSTURAL
DANS L'INSTABILITÉ CHRONIQUE DE
CHEVILLE**

DUBAU Sandy

Directeur de mémoire : M. ERCOLANO

Remerciements

Dans un premier temps je tenais à remercier mon maître de mémoire Mr Ercolano, pour la disponibilité qu'il m'a accordée pour la réalisation de ce travail ainsi que pour sa patience et ses conseils. Je tenais aussi à le remercier en tant que professeur car depuis la première année il a contribué à ma formation en tant que futur kinésithérapeute, à travers les cours, examens et mises en situation clinique. Sans oublier de remercier toute l'équipe pédagogique de l'école pour l'enseignement reçu pendant quatre ans.

Je tiens à remercier tous les masseur-kinésithérapeutes que j'ai eu la chance de rencontrer sur mes différents lieux de stage, pour toutes les connaissances qu'ils ont pu me transmettre.

Je remercie les personnes les plus importantes pour moi dans ma vie, mes parents. Je ne serai jamais arrivée jusqu'ici sans vous. Vous m'avez toujours soutenue, suivie, encouragée dans tous mes projets scolaires et sportifs. Vous avez toujours été là pour moi. C'est grâce à vous que j'ai pu réaliser mes rêves et que je suis celle que je suis à ce jour. Je vous en suis infiniment reconnaissante. Je vous aime.

Un grand merci aussi à ma super mamie et ses délicieuses pâtisseries qui ont contribué à me donner de l'énergie pour la rédaction de ce mémoire.

Je remercie mon Benji pour son soutien depuis le début de la rédaction de ce mémoire.

Je remercie mon partenaire quotidien depuis maintenant huit ans, mon petit poney blanc, mon Regain d'amour. Toujours là à me donner le maximum pour me faire plaisir en compétition, en balade ou encore à l'entraînement. Merci à toi mon Regain d'être toujours présent, qu'il pleuve, neige ou vente et d'avoir été ma source d'évasion depuis toutes ces années. Je t'aime toi et ton petit caractère de poney bien trempé qui m'a appris la patience, la persévérance et que rien n'est jamais acquis dans la vie.

Je remercie aussi mes amis, Coline HADDAD, Kathleen BETKA, Anthony FABRE et Steve DI-MACCIO. Ces quatre années d'études n'auraient pas été les mêmes sans vous. Je vous remercie pour tous ces moments passés avec vous, pour votre gentillesse et vos sourires.

Enfin, je voulais également remercier Clémence FORNASIER et Pierre-Yves GRASSET pour leur relecture et leurs précieux conseils.

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCTION | 1 |
| 1.1. De l'entorse de cheville à l'instabilité chronique de cheville | 2 |
| 1.1.1 <i>L'entorse de cheville et l'entorse latérale de cheville</i> | 2 |
| 1.1.2 <i>L'instabilité chronique de cheville (CAI)</i> | 4 |
| 1.2. La pliométrie | 12 |
| 1.2.1 <i>Etymologie et définition</i> | 12 |
| 1.2.2 <i>Principes</i> | 13 |
| 1.2.3 <i>Pliométrie : indications, précautions, risques.</i> | 14 |
| 1.2.4 <i>Pliométrie et contrôle postural</i> | 15 |
| 1.2.5 <i>Pertinence et objectif de cette revue de littérature</i> | 17 |
| 2. METHODE | 18 |
| 2.1. Critère d'éligibilité des études pour cette revue | 18 |
| 2.1.1 <i>Types d'études</i> | 18 |
| 2.1.2 <i>Type de population et pathologie</i> | 18 |
| 2.1.3 <i>Type d'intervention</i> | 18 |
| 2.1.4 <i>Objectifs et critères de jugement</i> | 18 |
| 2.2. Méthodologie de recherche des études | 19 |
| 2.2.1 <i>Bases de données</i> | 19 |
| 2.2.2 <i>Recherches supplémentaires</i> | 20 |
| 2.2.3 <i>Equations de recherches utilisées</i> | 20 |
| 2.3. Extraction et analyse des données | 21 |
| 2.3.1 <i>Sélection des études</i> | 21 |
| 2.3.2 <i>Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées.</i> | 21 |
| 2.3.3 <i>Extraction des données</i> | 22 |
| 2.3.4 <i>Méthode et synthèse des résultats</i> | 23 |
| 3. RESULTATS | 24 |
| 3.1. Diagramme de flux | 24 |
| 3.1.1 <i>Etudes exclues</i> | 25 |
| 3.1.2 <i>Etudes incluses</i> | 25 |
| 3.2. Risques de biais des études incluses | 31 |
| 3.2.1 <i>Grille d'analyse utilisée</i> | 31 |
| 3.2.2 <i>Synthèse des biais retrouvés</i> | 32 |
| 3.3. Effets de l'intervention sur les critères de jugement | 33 |
| 3.3.1 <i>Le critère de jugement principal : effet sur le contrôle postural dynamique</i> | 34 |
| 3.3.2 <i>Critères de jugement secondaires</i> | 36 |

| | |
|--|-----------|
| 4. DISCUSSION | 39 |
| 4.1. Analyse des résultats..... | 39 |
| 4.1.1 <i>Analyse de la population</i> | 39 |
| 4.1.2 <i>Analyse de l'intervention</i> | 40 |
| 4.1.3 <i>Critères de jugement et outils de mesure.....</i> | 42 |
| 4.1.4 <i>Analyse des résultats</i> | 43 |
| 4.2. Applicabilité des résultats en pratique clinique. | 47 |
| 4.3. Qualité des preuves | 49 |
| 4.4. Biais potentiels de la revue..... | 49 |
| 5. CONCLUSION | 51 |
| 6. BIBLIOGRAPHIE | 53 |
| 7. ANNEXES | 59 |

Liste des tableaux et des figures

Les tableaux.

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : les grades de l'entorse de cheville. | 3 |
| Tableau 2: Modèle PICO utilisé. | 19 |
| Tableau 3: Modalités de recherche | 20 |
| Tableau 4: Etudes exclues et motif d'exclusion après lecture intégrale. | 25 |
| Tableau 5: Synthèse des caractéristiques des études incluses. | 29 |
| Tableau 6 : Score PEDro des études incluses. | 31 |
| Tableau 7: Comparaison inter-groupe des deux groupes de l'étude de Lee et al, 2020..... | 42 |
| Tableau 8: Comparaison inter-groupe des deux groupes de l'étude de Radenne et al,2017..... | 43 |
| Tableau 9 : Comparaison intra-groupe du TTS pour le groupe pliométrique de l'étude de Huang et al, 2014..... | 44 |
| Tableau 10 : Comparaison intra-groupe du DPR entre le COP et le COM pour le groupe pliométrique de l'étude de Huang et al, 2014. | 44 |
| Tableau 11 : Comparaison intra-groupe du TAJ pour le groupe pliométrique de Huang et al, 2021. | 44 |
| Tableau 12 :Résultats de l'étude de Surakhamhaeng et al, 2020. | 45 |
| Tableau 13 : Comparaison inter-groupe de la ROM pour les deux groupes de l'étude de Lee et al, 2020..... | 46 |
| Tableau 14 : Comparaison inter-groupe de la ROM des deux groupes de l'étude de Huang et al, 2014 lors du latéral drop landing test..... | 46 |
| Tableau 15: Comparaison inter-groupe de la ROM des deux groupes de l'étude de Huang et al, 2014 lors du médial drop landing test. | 47 |
| Tableau 16 : Comparaison inter-groupe de l'activité neuromusculaire des muscles stabilisateurs de cheville des deux groupes de l'étude de Huang et al, 2021 lors du médial drop landing test lors de la phase de pré-atterrissage. | 48 |
| Tableau 17 : Comparaison inter-groupe de l'activité neuromusculaire des muscles stabilisateurs de cheville des deux groupes des deux groupes de l'étude de Huang et al, 2021 lors du médial drop landing test lors de la phase de post-atterrissage. | 49 |
| Tableau 18 : Synthèse des résultats post- traitements. | 50 |

Les figures.

| | |
|---|----|
| Figure 1: Les critères d'Ottawa ¹¹ | 10 |
| Figure 2: Phases du cycle étirement-raccourcissement ¹⁶ | 14 |
| Figure 3: Diagramme de flux..... | 24 |

Liste des abréviations.

IRBMS : institut de Recherche du Bien-être de la Médecine et du Sport

HAS : Haute autorité de santé

ECR : essai contrôlé randomisé

CAI : Instabilité chronique de cheville

IMC : indice de masse corporelle

IM : instabilité mécanique

IF : instabilité fonctionnelle

CAIT : Cumberland Ankle Instability Tool

SEBT : Star – Excursion Balance test

YBT : Y Balance test

ICC : coefficient de corrélation intraclass

COP : Centre de pression

COM : Centre de masse

TTS : temps de stabilisation

AP : Ajustements posturaux

FNM : Fuseaux neuromusculaire

OTG : Organes tendineux de Golgi

USA : Etats-Unis

CER : cycle étirement – raccourcissement

ROM : amplitude de mouvement articulaire maximale

ROM : amplitude de mouvement

EBP : evidence based practice

EMG : electromyogramme

ASE : exercice de stabilité de la cheville

ML : médiale-latérale

A-P : Antéro-postérieur

DIG : différence intra-groupe

SD : écart-type

MK : masseur-kinésithérapeute

1. INTRODUCTION

De nos jours, ce n'est plus un secret qu'entretenir une activité physique régulière est indispensable aussi bien pour notre santé physique que mentale. A tout âge il est important de pratiquer une activité. Du yoga à la gymnastique, en passant par l'équitation, le tennis, le volleyball, la boxe ou encore le basketball, tout individu peut trouver l'activité qui lui correspond. C'est à chacun de choisir le niveau auquel il souhaite pratiquer cette activité : pouvant aller de la simple remise en forme à la pratique amateur, ou encore au niveau professionnel. Cependant, la pratique d'une activité physique doit être réalisée à la fois de manière rigoureuse et consciencieuse, tout en étant à l'écoute de son corps. Malgré ces bienfaits, elle comporte tout de même des risques de blessures. Réalisée de manière excessive, ou de façon non adaptée elle peut être la cause de blessures musculosquelettiques aiguës et chroniques. Ces blessures, surtout concernant le membre inférieur, peuvent provoquer une invalidité à court terme, un arrêt temporaire de l'activité physique et peuvent être associées à des complications ultérieures[1].

Selon l'Institut de Recherche du Bien-être de la Médecine et du Sport santé (IRBMS), « l'entorse de cheville est le premier des traumatismes en France (1 cas/ 12 000 habitants par jour ; soit 6 000 cas par jour). Son coût en Santé Publique s'élève à 2 millions d'euros par jour¹. Elle représente 10 % de toutes les lésions de traumatologie orthopédique admise aux urgences et 20 à 40 % de tous les traumatismes sportifs »[2]. Aux Etats-Unis la fréquence des entorses de cheville est de 24 000 cas par jour[3] et représente un coût économique de 2 milliards de dollars par an comparable aux pontages coronariens[4]. A noter que ces valeurs peuvent être sous-estimées compte tenu de l'automédication et de l'auto-prise en charge fréquente pour cette pathologie[2]. De plus, environ 55% de la population victime d'entorse de cheville ne consulterait pas un professionnel de santé[5]. Nous constatons également dans l'étude de McKay que 56,8% des joueurs de basketball blessés à la cheville n'ont pas cherché à obtenir un quelconque traitement médical[6].

Selon une étude, il existe un risque accru de blessures de cheville pour les sports d'équipe, de contacts et des sports incluant des manœuvres de sauts, de pivots et changements rapides de direction. Les sports faisant partie de ces catégories sont considérés comme responsables de nombreux cas d'entorses aiguës de cheville : 54% des blessures pour le volley-ball ; 17% pour le soccer et 25% pour le basketball [7]. Bien souvent l'entorse de cheville n'est malheureusement pas une blessure qui n'arrive qu'une seule fois et qui se guérit naturellement comme une simple égratignure. Les entorses aiguës de la cheville ont un taux de récurrence élevé dans 70% des cas, avec un risque de développer une incapacité physique résiduelle pouvant être associée au développement d'une instabilité chronique de la cheville (CAI) [1]. La récurrence de ces entorses et des CAI est mise en évidence chez volleyeurs, basketteurs et joueurs de soccer[7].

Toutes ces informations suscitent de nombreuses interrogations : l'entorse de cheville est-elle perçue comme une pathologie bénigne? Les sportifs la sous-estiment-elle? Ses conséquences sont-elles perçues comme minimales par les patients, les entraîneurs, les sportifs ? Sa récurrence est-elle due à un retour trop rapide à l'activité physique ? Ou bien à une prise en charge médicale absente ? A une rééducation bâclée, inappropriée ou encore non réalisée ?

¹ <https://www.irbms.com/entorse-de-cheville-conduite-a-tenir/> (accessed September 25, 2021).

L'arrêté du 6 Mars 2020, prévoit « un accès direct aux soins kinésithérapeutes, sans nécessité de prescription médicale préalable, pour la prise en charge d'une torsion de cheville »².

Les Masseur-Kinésithérapeutes vont avoir une place centrale et une responsabilité plus importante dans la prise en charge : au niveau du diagnostic, de l'information du patient, de l'éducation thérapeutique, dans la mise en place du traitement kinésithérapique, voire de la réorientation du patient vers un praticien spécialiste si nécessaire et surtout un rôle décisif pour la reprise de la pratique sportive. Un accès aux soins en première intention permettra-t-il de diminuer ces chiffres ? Que ce soit le nombre de cas d'entorse, de récives, et par conséquent de CAI?

La Haute Autorité de Santé (HAS) , évoque à son tour que les séquelles à la suite d'une entorse de cheville sont fréquentes. De plus, elle conseille de réaliser des études complémentaires, afin de déterminer quelles techniques sont les plus efficaces pour limiter les séquelles ou les récives de cette affection³. A travers plusieurs revues de littérature nous avons pu constater les bienfaits de l'entraînement pliométrique, que ce soit au niveau de la performance sportive, performance de saut vertical, le développement de la puissance musculaire, de l'explosivité musculaire ou encore de la réactivité ainsi que de l'agilité[8–10]. Ce type d'entraînement consiste en une succession rapide de mouvements d'étirements et de raccourcissements . Selon Hewitt, la pliométrie utilisée de façon progressive permettrait également de diminuer de façon significative le nombre de blessures du membre inférieur (comme par exemple la rupture du ligament croisé antérieur) et les fractures de la jambe, du pied et de la cheville[11]. Serait-il pertinent d'intégrer l'entraînement pliométrique dans les programmes de rééducation de patients souffrant d'instabilité chronique de cheville ?

1.1. De l'entorse de cheville à l'instabilité chronique de cheville

Nous allons maintenant voir comment l'entorse de cheville peut devenir chronique.

1.1.1 L'entorse de cheville et l'entorse latérale de cheville

Selon la sécurité sociale, « l'entorse de la cheville est un étirement ou une déchirure ligamentaire survenant lors d'une torsion brutale de cette articulation. Elle concerne le plus souvent le ligament latéral externe. Elle survient la plupart du temps lors d'un faux-pas sur un terrain irrégulier ou lors d'une activité sportive »⁴.

Le mécanisme d'inversion forcée est le plus fréquemment rencontré en cas d'entorse latérale de cheville. Cette inversion forcée résulte des mouvements combinés de flexion plantaire, adduction, supination et le varus de l'arrière-pied.[4] Celle-ci représente 90% des cas d'entorse de cheville⁴. Elle peut être due à d'autres mécanismes et causant également la lésion d'autres ligaments ; comme l'entorse du ligament collatéral médial et du spring-ligament en cas d'éversion forcée ou encore d'entorse de la syndesmo tibio fibulaire distale[4].

L'entorse de cheville est classée par grades en fonction de sa gravité. On distingue 3 types d'entorses⁴ [12]:

² <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041697945> (accessed September 29, 2021).

³ <https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/recosentors.pdf> (accessed October 5, 2021).

⁴ https://www.ameli.fr/assure/sante/themes/entorse-cheville/reconnaitre-entorse-cheville#text_4278 (accessed October 11, 2021).

Tableau 1 : les grades de l'entorse de cheville.

| <u>L'entorse bénigne ou de grade 1</u> | <u>L'entorse dite « moyenne » ou de grade 2</u> | <u>L'entorse dite « grave » ou de grade 3</u> |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Etirement léger du complexe ligamentaire sans rupture ni arrachement • Absence d'instabilité articulaire. • Gonflement de la cheville • Douleurs variables (souvent faible) • Mobilité de cheville non altérée. | <ul style="list-style-type: none"> • Rupture partielle du complexe ligamentaire • Légère instabilité de l'articulation • Douleur intense • Gonflement de la cheville • Hématome • Appui sur le pied douloureux voire impossible. | <ul style="list-style-type: none"> • Rupture complète du complexe ligamentaire • Instabilité de l'articulation. • Douleur immédiate et violente. • Instabilité distincte de la cheville • Mobilité articulaire quasiment nulle • Hématome diffus • Douleur prononcée à la palpation et à la pression. |

Comme dit précédemment, la plupart des victimes d'entorse de cheville ne consulteraient pas de professionnel de santé et beaucoup d'automédication ainsi que d'auto-prise en charge existe pour cette pathologie. La HAS recommande un traitement fonctionnel, par la mobilisation et la reprise d'appui précoce ainsi qu'une rééducation proprioceptive³. Il faut aussi noter que la Nomenclature des Actes Professionnels préconise dix séances de rééducations dans le cadre de la prise en charge d'une entorse de cheville⁵.

Plusieurs facteurs de risques favorisent la survenue des entorse des cheville. Ils peuvent être classés en deux catégories : intrinsèques et extrinsèques. Parmi les facteurs intrinsèques, le principal est l'antécédent d'entorse de cheville[4]. Ceci souligne la nécessité de prévention secondaire. D'autres facteurs sont impliqués dans l'apparition des entorses latérales de chevilles comme :

- un indice de masse corporelle (IMC) élevé[13]
- un déficit de dorsiflexion de la cheville pouvant, d'après une méta-analyse altérer la mécanique d'atterrissage des membres inférieurs prédisposant les athlètes aux blessures[13,14] .
- une baisse de la force d'inversion excentrique lente de la cheville ainsi qu'une amplification de la force de flexion plantaire concentrique rapide [13]
- un déficit de contrôle postural statique et dynamique[13].
- un déficit de proprioception⁴ [13]
- un temps de réactivité musculaire altéré des muscles fibulaires [13]
- une anomalie de la statique du pied⁴
- des troubles de coordination causés par une maladie, par la fatigue ou encore suite à la consommation d'alcool⁴

Concernant les facteurs extrinsèques nous distinguons :

- l'activité sportive par la pratique des sports de contact, sports de pivot dans lesquels les changements de direction sont brutaux⁴
- la marche sur des terrains instables⁴

⁵ https://www.ameli.fr/sites/default/files/guide_pratique_de_la_ngap_en_masso-kinesitherapie_assurancemaladieauraout_2020_cpam-ain_0.pdf (accessed October 11, 2021)

- le port de chaussures instables ou inadaptées à l'activité⁴.

1.1.2 L'instabilité chronique de cheville (CAI)

1.1.2.1 Définition

Selon l'IRBMS, « l'instabilité chronique de cheville correspond à une réduction de la capacité d'un individu à stabiliser l'articulation de la cheville contre l'entorse d'inversion »⁶.

Selon *Concilio*, il s'agit « d'un manque de stabilité de la cheville suite à une entorse mal traitée ou une insuffisance de cicatrisation des faisceaux talo-fibulaires antérieurs du ligament collatéral latéral de la cheville et calcanéo-fibulaires. Ce dysfonctionnement est généralement secondaire à une simple entorse ou à la répétition de plusieurs entorses »⁷.

En effet, Gribble estime que 50 à 70% des personnes ayant déjà eu une première entorse latérale de cheville (LAS) développeront une CAI [15] ; Hertel quant à lui estime que jusqu'à 40 % des personnes qui subissent une première LAS développeront une CAI [16]. Celle-ci se caractérise par une persistance des symptômes plusieurs mois après l'entorse initiale comme la douleur, le gonflement, des amplitudes de mouvements limitées, faiblesse des muscles fibulaires, une altération des contrôles posturaux statique et dynamique, une modification des stratégies spécifiques à une activité ⁵[16,17]. En effet, des études ont su montrer que ces patients présentaient des stratégies d'atterrissages anormales causées par une limitation dans les mouvements dans le plan sagittal en flexion dorsale et flexion plantaire ainsi que par une augmentation anormale des mouvements articulaires de la cheville dans le plan frontal lors de la réception de sauts. De plus il est intéressant de rajouter que ces déficits du contrôle postural dynamique ont été identifiés à l'aide de diverses mesures, y compris le temps de stabilisation (TTS) distances de portée du Star Excursion Balance Test (SEBT), mesures du balancement du centre de pression (COP), et du centre de masse (COM) [18]. Elle peut entraîner une dégénérescence de l'articulation de la cheville précoce⁵.

Avant d'aller plus loin dans notre raisonnement au sujet de la CAI , il est essentiel de décrire fonctionnellement l'anatomie de la cheville. Ceci aura pour intérêt de définir les différentes articulations en présence ainsi que les différents éléments concourants à la stabilité de celle-ci.

1.1.2.2 Anatomie fonctionnelle de la cheville[19][4]

La cheville est un complexe comprenant trois articulations : l'articulation Talo-crurale, l'articulation sub-talienne et la syndesmose tibio-fibulaire distale. Ces trois articulations travaillent ensemble afin de permettre un mouvement synchronisé de l'arrière-pied. Le mouvement de l'arrière se produit dans les trois plans cardinaux :

- Le plan sagittal : La flexion dorsale (le dos du pied se rapproche de la face antérieure du tibia) et la flexion plantaire (le dos du pied s'éloigne de la face antérieure du tibia). Ces mouvements s'effectuent selon un axe passant par les deux malléoles dans le plan frontal.
- Le plan frontal : La pronation (la plante de pied s'oriente vers l'extérieur) et la supination (la plante du pied s'oriente vers l'intérieur). Ces mouvements s'effectuent selon l'axe de Henké.
- Le plan horizontal : L'abduction (la pointe du pied se porte en dehors) et l'adduction (la pointe du pied se porte en dedans). Ces mouvements s'effectuent selon l'axe longitudinal de la jambe.

⁶ <https://www.irbms.com/instabilite-chronique-de-cheville/> (accessed October 11, 2021)

⁷ <https://www.concilio.com/orthopedie-instabilite-chronique-de-cheville> (accessed October 13, 2021)

- Le mouvement d'inversion est la combinaison de la flexion plantaire, l'adduction et la supination ; et le mouvement d'éversion combine le mouvement de flexion dorsale, abduction et pronation.

Cependant, il est important de souligner que le mouvement de l'arrière pied ne se produit pas seulement dans les trois plans de l'espace car les articulations sub-talienne et talo-crurale ont chacune des axes de rotation obliques. De plus, plusieurs éléments contribuent à la stabilité des articulations de la cheville :

- la congruence des surfaces articulaires lorsque les articulations sont chargées
- les contraintes ligamentaires statiques
- les unités musculo-tendineuses permettant une stabilisation dynamique des articulations.

➤ Anatomie de l'articulation talo-crurale et tibio-fibulaire distale

L'articulation tibio-fibulaire distale, également appelée « la pince tibio-fibulaire », est une articulation de type syndesmose entre le tibia et la fibula. Il s'agit d'une articulation mobile[20] qui permet un mouvement limité entre les 2 os ; cependant, le glissement accessoire au niveau de cette articulation est crucial pour la mécanique normale dans tout le complexe de la cheville. Cette articulation a un rôle stabilisateur, plutôt qu'un mouvement supplémentaire du pied et de la cheville[21]. Elle est stabilisée par une membrane interosseuse épaisse et les ligaments tibio-fibulaire inférieur, antérieur et postérieur. L'intégrité structurelle de cette articulation est indispensable afin de constituer le toit stable de la mortaise de l'articulation talo-crurale[19].

L'articulation talo-crurale (ou tibio-talienne) plus communément appelée « articulation de la cheville », est une articulation complexe de type ginglyme. Elle met en jeu trois surfaces articulaires : la face inférieure du pilon tibial répondant à la face supérieure du corps du talus ; la face latérale de la malléole médiale répondant à la surface en virgule du talus et la moitié inférieure de la face médiale de la malléole fibulaire répondant à la face latérale du corps du talus[20]. La pince tibio-fibulaire contraint le talus afin que l'articulation talo-crurale contribue particulièrement à la flexion plantaire et la dorsiflexion[21]. En charge, les surfaces articulaires sont les principaux stabilisateurs contre une rotation et translation exagérées du talus[19]. De plus, le talus étant plus large en avant qu'en arrière rend compte que l'articulation est plus stable en dorsiflexion[21]. Il est important de souligner l'importance de la capsule (tapissée à sa face profonde de la synoviale) et des ligaments, dans la stabilité de cette articulation. On distingue deux types de ligaments : le ligament collatéral médial (LCM) et le ligament collatéral latéral (LCL)[19].

- Le LCM[20] :

Celui-ci est constitué du ligament deltoïde, il se présente sous la forme d'un éventail fibreux. Celui-ci est constitué de deux plans .

- Un plan superficiel, représentant véritablement le faisceau dit « deltoïdien ». Celui-ci s'étend en éventail de la malléole tibiale à l'os naviculaire, ligament calcanéo-naviculaire plantaire jusqu'au sustentaculum tali.

- Un plan profond composé d'un faisceau antérieur qui s'étend de la malléole médiale au col du talus, et d'un faisceau postérieur qui s'étend de malléole médiale à la face médiale du corps du talus.

Celui-ci est plus épais et plus puissant que le LCL.

- **Le LCL[20] :**

Le LCL , également appelé le ligament collatéral fibulaire (LCF), est le plus faible de ce système ligamentaire. Celui-ci est constitué de trois faisceaux :

- Un faisceau antérieur : qui s'étend de la face antérieure de la malléole latérale au col du talus
- Un faisceau moyen : qui s'étend de la face antérieure de la malléole latérale à la face latérale du calcaneus
- Un faisceau postérieur : qui s'étend de la face médiale de la malléole latérale dans le sillon limitant en bas et en arrière le talus.

➤ **L'articulation sous-talienne (ou subtalaire)**

L'articulation subtalaire est composée des surfaces articulaires entre le talus et le calcaneus. Elle est constituée de deux cavités articulaires séparées. La face postéro-inférieure du corps talus et la face postéro-supérieure du calcaneus constituent l'articulation sous-talienne postérieure. La tête du talus, la surface concave et proximale de l'os naviculaire, les facettes antéro-supérieures et le sustentaculum-tali du calcaneus constituent l'articulation sous-talienne antérieure ; aussi nommée l'articulation talocalcanéo-naviculaire. Toute cette géométrie permet l'inversion et l'éversion de la cheville. La majorité de ces mouvements du pied est réalisée par cette articulation. Ces deux articulations possèdent chacune une capsule articulaire qui leur est propre. Les synoviales, au nombre de deux, tapissent la face profonde de chaque capsule[19,20]. Un système ligamentaire constitue des ancrages entre ses deux surfaces osseuses. Cependant, le plus important est le ligament talocalcanéen interosseux. Trois autres participent à la stabilité de cette articulation : le ligament talocalcanéen latéral, le ligament talocalcanéen médial et le ligament talocalcanéen postérieur ; mais leur participation est moindre[20][21]. De plus, le ligament calcaneéo-fibulaire du LCL et le ligament deltoïde du LCM soutiennent cette articulation. Les tendons longs du long fibulaire, du court fibulaire, du long fléchisseur de l'hallux, du tibial postérieur et du long fléchisseur des orteils apportent un soutien supplémentaire[21].

➤ **Système musculaire et stabilité de cheville**

Lorsque les unités musculo-tendineuses sont contractées, elles entraînent une protection dynamique des articulations[19]. Les muscles extrinsèques du pied réalisent l'essentiel des mouvements du complexe cheville-pied. Ces muscles extrinsèques ont pour origine le segment jambier et se terminent au niveau du pied[21]. Ces muscles sont habituellement décrits en fonction de leur action concentrique; mais leur fonction excentrique est tout aussi non négligeable lorsque nous considérons leur rôle dans la stabilité dynamique[19]. La loge antérieure contient quatre muscles : le tibial antérieur et le long extenseur de l'hallux, qui produisent la dorsiflexion et l'inversion du pied ; L'extenseur des orteils produisant uniquement la dorsiflexion ; et le troisième fibulaire étant un muscle inconstant, responsable de la dorsiflexion et l'éversion du pied[21]. Ces muscles peuvent participer avec les muscles fibulaires à la stabilité dynamique du complexe latéral de la cheville en se contractant

de façon excentrique lors d'un mouvement de supination forcée. Ceci signifie qu'ils peuvent prévenir les blessures des ligaments latéraux en ralentissant la composante de flexion plantaire de la supination[19]. La loge latérale contient deux muscles : le long fibulaire et le court fibulaire anciennement appelés « les muscles péroniers ». Ils produisent l'éversion du pied et la flexion plantaire. Ils font partie intégrante du contrôle de la supination de l'arrière-pied et de la protection contre les entorses latérales de la cheville et ses récurrences[21]. La loge postérieure profonde est composée : du muscle tibial postérieur, le long fléchisseur des orteils et du long fléchisseur de l'hallux. Ils produisent les mouvements de flexion plantaire et d'éversion du pied. Ces muscles ont aussi un rôle de stabilisation par le maintien des voutes plantaires.

1.1.2.3 *L'instabilité mécanique et l'instabilité fonctionnelle*

Selon la littérature, le mécanisme des entorses récurrentes de la cheville ne différerait pas de celui des entorses initiales. Comme dit précédemment, celles-ci entraîneraient des changements importants conduisant à la récurrence des entorses de l'individu. Deux types d'instabilité peuvent être attribuées à une CAI: l'instabilité mécanique (IM) et l'instabilité fonctionnelle (IF). La description de chacune d'entre elles permettra de décrire de façon plus appropriée des causes potentielles de la CAI [19][4].

- *L'instabilité mécanique*

L'IM se définit par une amplitude de mouvements articulaires supérieurs à sa mobilité physiologique. Elle doit son apparition à des modifications anatomiques faisant suite à une entorse initiale. La laxité pathologique est impliquée dans ces changements ; elle est souvent due à des lésions ligamentaires et son importance dépend de la quantité de dommages sur le complexe ligamentaire latéral.

Elle peut être à l'origine d'instabilité articulaire lorsque la cheville est placée dans des positions à risques comme notamment lors d'activités de la vie quotidienne ou de la pratique sportive. Cette laxité pathologique apparaît la plupart du temps au niveau des articulations talo-crurale par une lésion du ligament talo-fibulaire antérieur entraînant un déplacement antérieur du talus dans la mortaise tibio-fibulaire pouvant être appréciée par le test du tiroir antérieur (*cf :Diagnostic*). Cette laxité pathologique peut également apparaître au niveau de l'articulation talo-crurale et sub-talienne par la lésion du ligament calcanéofibulaire, s'accompagnant souvent d'une lésion de la capsule articulaire sub-talienne, du ligament cervical et d'autres ligaments. La cicatrisation ligamentaire ne s'effectuerait donc pas correctement.

L'altération de l'arthrocinétique au niveau de l'une des trois articulations de la cheville est impliquée dans l'IM. Cette altération entraîne une malposition de l'articulation tibio-fibulaire inférieure : en effet selon une étude, la partie distale de la fibula peut être déplacée en avant et/ou en bas chez les individus atteints de CAI. Un déficit d'amplitude en flexion dorsale fait également partie de cette altération. Si la talo-crurale est incapable d'effectuer une flexion dorsale complète, elle ne parviendra pas à se verrouiller de façon sécurisée et ne pourra pas lutter contre l'inversion et le pivot[19].

Il est important de souligner que la littérature a mis en évidence une diminution de la flexion dorsale de cheville chez les athlètes souffrants de CAI[22]. Un conflit synovial peut aussi être responsable d'une IM : une inflammation synoviale a été révélée dans les capsules de l'articulation talo-crurale et de la

sub-talaire. Cette inflammation est due à un conflit entre le tissu synovial hypertrophié et les os constituant le complexe articulaire de la cheville.

Le développement de lésions articulaires dégénératives peut également être responsable de la survenue d'une IM. De plus, la littérature a su démontrer que les individus présentant des antécédents d'entorses répétitives ont plus de chance de développer une sclérose sous-chondrale ou des ostéophytes par rapport à des individus sans antécédent[19].

- L'instabilité fonctionnelle :

Freeman a défini en 1965 l'IF comme une gêne perçue à laquelle les patients vont se référer et dire que leur pied a tendance à « céder », correspondant à une sensation de « lâchage » ou de « déroboement » dans les mois et/ou années qui vont suivre l'épisode de première entorse.

Selon sa théorie, celle-ci serait due à un déficit proprioceptif[16]. Durant les années 80, Tropp démontre que l'IF pouvait être due à des remaniements du système moteur et du contrôle sensorimoteur et non uniquement dû à un déficit proprioceptif comme le soulignait Freeman. Le modèle d'Hertel visant à décrire avec exactitude la CAI développée dans les années 2000, n'utilise pas le terme « d'instabilité fonctionnelle » mais de « déficits fonctionnels ». Ceux-ci correspondent au déficit de proprioception, du contrôle postural, du contrôle neuromusculaire et de force musculaire⁸.

Une revue de littérature de 2021 évaluant la proprioception chez les sujets atteints de CAI a pu confirmer la présence de déficiences de proprioception. Selon celle-ci, les déficits de kinesthésie et de stathésie pour les mouvements et positions d'éversion, inversion et flexion plantaire sont présents chez ces patients [23]. Différentes évaluations du contrôle postural comme l'évaluation subjective non instrumentée de Romberg et ou encore une évaluation par plateforme de force ont démontré de façon systématique des insuffisances fonctionnelles ainsi que des déficits de contrôle posturaux chez les patients souffrants de CAI[19]. Des déficits de recrutement et d'activation neuromusculaire, notamment des muscles fibulaires ont également été mis en évidence chez ces patients[24,25]. Diverses études ont rapporté la présence de déficits de force musculaire des muscles éverseurs mais également inverseurs, chez les patients atteints de CAI [19,26,27]. Cependant, la raison de la déficience n'est pas claire et nous conduit à nous demander si la faiblesse musculaire ne serait pas due à des lésions ou bien une atrophie musculaire ; ou encore si ces déficits de force pourraient être causés par une altération du recrutement musculaire en lien avec une anomalie de l'articulation de la cheville[19].

Hertel a proposé en 2019 une mise à jour de son modèle de 2002 afin de décrire de façon plus précise la CAI. Il est composé de huit groupes : les lésions tissulaires primaires, les déficiences pathomécaniques, les déficiences sensorielles et perceptives, déficiences motrices et comportementales, les facteurs personnels, facteurs environnementaux, les interactions des composants, l'ensemble des résultats ou effets cliniques. Il affirme que chez les patients présentant une CAI, auront eu lieu auparavant une première lésion du ligament talo-fibulaire antérieur ainsi que possiblement du ligament calcanéofibulaire[16].

⁸ https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/261008/3/2021_09_27_Quest_ce_que_ICC.pdf (accessed October 14, 2021)

Diagnostic

Le diagnostic a pour objet de repérer l'ensemble des facteurs d'instabilité comme : les lésions ligamentaires de l'articulation talo-crurale (du système ligamentaire tibio-fibulaire, talaire, calcanéen et ou encore subtalaire), les facteurs contribuant (ex : le morphotype de l'arrière-pied), les lésions associées dues à la chronicité (ex : conflit antéro-latéral, lésions des muscles fibulaires, lésion ostéochondrale, arthrose précoce...). Le diagnostic est avant tout clinique.

- L'interrogatoire

Celui-ci est important afin de préciser l'histoire de la maladie, ses activités de la vie quotidiennes, les traitements auxquels il aurait pu avoir eu recours auparavant, les symptômes le motivant à consulter, le retentissement fonctionnel de l'instabilité et sa durée d'évolution[4]. De plus, il existe différents questionnaires destinés aux patients comme : le « Cumberland ankle instability tool » (CAIT)[28] ; le « Foot and Ankle Ability Measure » (FAAM)[29,30] ; le « Fonctionnal Ankle Instability Questionnaire » (FAIQ)[28] ; le « Ankle Joint Functional Assessment Tool » (AJFAT)[28] ; le « Functional Ankle Outcome Score » (FAOS)[30] ; le « Foot and Ankle Disability Index » (FADI)[30], qui permettent de rassembler l'ensemble des signes et symptômes cliniques en supplément de l'examen et test cliniques.

- Examen clinique et paraclinique

Il est important de réaliser un examen comparatif entre la cheville saine et la cheville lésée. Plusieurs éléments sont à rechercher :

- Un varus de l'arrière pied (ce morphotype est un facteur d'instabilité)
- La rétraction du complexe tendino-musculaire du triceps sural: une flexion dorsale de cheville limitée en flexion ou extension de genou traduit une rétraction du tendon calcanéen ; alors qu'une flexion dorsale limitée uniquement lorsque le genou est en extension traduit seulement une rétraction des gastrocnémiens.
- Déficits d'amplitudes articulaires de la cheville
- La luxation des tendons fibulaires (active et passive)
- Des douleurs à la palpation des différents faisceaux ligamentaires, au niveau du sinus du tarse, du ligament collatéral médial, des trajets tendineux, des interlignes articulaires
- La mobilité de l'arrière-pied[4].

Plusieurs tests ligamentaires permettent d'apprécier le niveau de laxité ligamentaire de la cheville. Ils permettent de rechercher une laxité du tiroir antérieur talien et/ou la laxité de la cheville en varus⁹[4].

L'examen clinique peut parfois être insuffisant pour mettre en évidence une laxité ou encore faire un diagnostic topographique. Cependant, même s'il n'est pas révélateur d'une CAI son diagnostic n'est pas écarté ; c'est pour cela que bien souvent les examens radiologiques en complément sont souvent une aide essentielle au bilan.

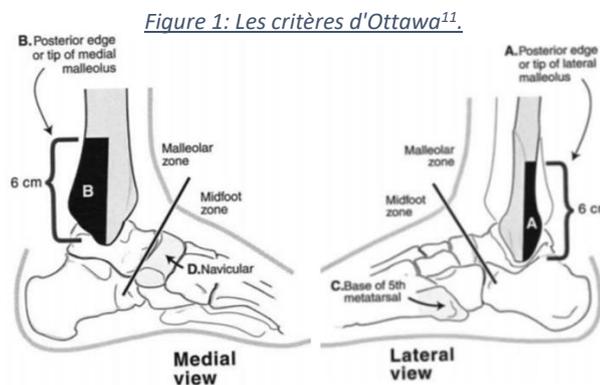
Parmi toutes ces lésions, il ne faut pas oublier le risque de fracture. « Les règles d'Ottawa » aussi connues sous le nom de « critères d'Ottawa » ont été proposés par Stiell au début des années 90. En effet, ceux-ci vont permettre une réduction du nombre de radiographies non nécessaires de 30 à 40%¹⁰. Comme le suggère la Cour des comptes, les divers actes d'imageries médicale représentent une

⁹ <https://www.concilio.com/orthopedie-instabilite-chronique-de-cheville> (accessed October 17, 2021).

¹⁰ <http://www.minerva-ebm.be/FR/Article/880> (accessed December 9, 2021).

dépense de près de 6 milliards d'euros par an pour l'assurance-maladie¹¹. Ces règles d'Ottawa sont basées sur les critères suivants¹⁰, illustrés par la *figure 1* ci-après :

- « Des clichés radiologiques sont requis dans le cas de douleur rencontrée dans les régions malléolaires ainsi que :
 - De douleur à la pression/palpation dans les 6 cm distaux d'une malléole (*A et B*)
 - Une incapacité de réaliser 4 pas complets et consécutifs (soit immédiatement après le traumatisme, soit lors de l'examen)
- Des clichés radiologiques sont requis dans le cas de douleur rencontrée au niveau du médio-pied ainsi que :
 - De douleur de la base du 5^e métatarsien (*C*)
 - De douleur au niveau de l'os naviculaire (*D*)
 - Une incapacité de réaliser 4 pas complets et consécutifs (soit immédiatement après le traumatisme, soit lors de l'examen) ».



De plus, diverses preuves scientifiques valident les critères d'Ottawa en tant qu'instrument utile et précis permettant d'exclure les fractures de la cheville et du médio-pied. La sensibilité de ces critères est de presque 100% et leur spécificité est quant à elle plus modeste (entre 26 et 48%)¹⁰[31].

Il est important de préciser qu'il existe différents types de radiographies :

- La radiographie en simple charge, permettant de mettre en évidence diverses lésions (fracture, arrachement ligamentaires osseux signes d'ancienne entorse...)
- La radiographie dynamique a pour objet d'identifier et quantifier la laxité ligamentaire et topographier les lésions.

D'autres imageries permettront de déceler d'autres lésions comme l'échographie, l'arthroscanner et l'imagerie par résonance magnétique [4].

- Les tests fonctionnels

Comme dit précédemment, il a été prouvé par la littérature que les individus présentant une CAI montrent un contrôle postural dynamique plus faible que les individus sains. Plusieurs tests existent permettant l'évaluation de la composante fonctionnelle par le contrôle postural. Il s'agit de

¹¹<https://www.allodocteurs.fr/se-soigner-economie-de-la-sante-imagerie-medicale-trop-de-depenses-inutiles-19716.html>(accessed December 9, 2021).

tests objectifs, pouvant être utilisés à titre diagnostique mais également pour suivre l'évolution du patient au cours de la rééducation.

Le Star Excursion Balance Test (SEBT) est un test d'équilibre dynamique non instrumenté très représentatif pour les personnes physiquement actives car il nécessite de la force, de la proprioception et de la souplesse [32]. Le patient se place au milieu d'une étoile à huit branches représentées au sol (par des bandes ou par un dessin), chacune représentant une direction désignée selon la jambe d'appui (antérieure, postérieure, antéro médiale, antéro latérale, postéro-médiale, postéro-latérale, latérale, médiale) (*cf: Annexe 1*). Les branches sont à 45 degrés l'une de l'autre. L'objectif du test est de rester stable sur la jambe d'appui tout en allant toucher avec la partie distale de l'autre pied le plus loin possible la ligne et puis revenir à la position initiale au milieu de l'étoile. L'essai n'est pas validé si le patient se pose massivement sur le point touché, s'il nécessite une prise de contact importante avec le sol afin de conserver son équilibre. On pourra observer une diminution de la portée en charge sur le membre lésé par rapport à la position en charge sur le membre non lésé [33].

Ce test peut être utilisé afin de prédire des risques de blessure au niveau de membres inférieurs, mesurer les performances physiques, le retour à la pratique sportive et pour identifier les patients souffrant de CAI [32]. Il est important de souligner que la littérature a su montrer que l'utilisation de la direction postéro-médiale serait suffisante afin d'identifier spécifiquement les personnes présentant une CAI [33,34]. De plus, les performances à ce test s'amélioreraient après l'entraînement[32]. La fiabilité intra évaluateur de ce test a été évaluée comme modérée à bonne (ICC 0,67-0,97) et la fiabilité inter-évaluateur, mauvaise à bonne (ICC 0,35-0,93) [32].

La fiabilité inter évaluateur s'est améliorée par l'utilisation du Y-Balance Test avec un ICC qui variait de 0,99 à 1,00 et pour la fiabilité intra-évaluateur l'ICC variait de 0,85 à 0,91 [32]. Le Y Balance Test est une version instrumentée des composantes du SEBT (*cf: Annexe 2*). Ce test permet d'améliorer la répétabilité de la mesure et standardiser les performances. Il utilise les composantes antérieures, postéro-médial et postéro-latéral du SEBT [33].

Le multiple hop test est également un test fiable et valide pour détecter un contrôle postural dynamique altéré chez les patients présentant une CAI. Celui-ci présente une fiabilité intra-évaluateur et inter-évaluateur excellente avec un ICC supérieur à 0,90 [35]. D'autres tests existent pour évaluer le contrôle postural comme le triple hop test, l'agility hop test, le single leg agility. Cependant leur fiabilité et leur validité n'ont pas été trouvés dans la littérature pour l'évaluation du contrôle postural dynamique des patients présentant cette pathologie.

Les plateformes de forces instrumentées peuvent également être utilisées afin d'évaluer la stabilité posturale, cependant ces dispositifs peuvent ne pas être disponibles dans certains établissements[15]. Celles-ci peuvent être très efficaces afin de mesurer le balancement du centre de pression (COP)¹², du centre de masse (COM)¹³, en position au repos ou lors d'une tâche quelconque par exemple lors de l'atterrissage d'un saut. De plus, selon une étude, le déplacement relatif entre le COM et le COP est une valeur très importante et très sensible afin d'évaluer la stabilité posturale [36]. Elles peuvent aussi permettre de mesurer le temps de stabilisation (TTS) de l'angle articulaire (et/ou de la force de réaction au sol), cette mesure étant représentative du contrôle postural dynamique.

¹² Représentant le balancement du corps.

¹³ Appelé aussi centre de gravité.

Tous ces éléments sont autant d'outils d'évaluation de la condition de nos patients, ayant pour but de nous permettre d'élaborer le meilleur plan de traitement afin de traiter leurs altérations.

Traitements

Le traitement est tout d'abord conservateur et en cas de persistance des symptômes il sera chirurgical⁸[37].

En effet, l'intervention chirurgicale va aider en cas d'échec du traitement conservateur, à corriger la laxité externe de la cheville et donc améliorer la stabilité de celle-ci. Compte tenu de l'absence de données chiffrées concernant le nombre d'interventions chirurgicales par an, nous pouvons supposer grâce aux données épidémiologiques évoquées précédemment, que le nombre d'interventions par an doit tout de même être assez élevé si le traitement conservateur n'a pas été efficace. Il serait intéressant d'obtenir des études qui traiteraient de ces données. L'intervention chirurgicale consiste à réaliser une ligamentoplastie de cheville « Hemi-Casting ». Une ostéotomie de valgisation « Dwyer » peut être nécessaire en cas de varus calcanéen présent⁸.

Il est important de préciser que le traitement conservateur de l'instabilité chronique de cheville est semblable à celui des entorses aiguës de cheville. Est recommandé initialement : la prise d'antalgique et/ou anti-inflammatoires non stéroïdiens sur prescription médicale, une mobilisation précoce, une mise en charge avec le port d'une attelle ou strapping (grade C) [38] et des mesures afin de limiter l'évolution de l'œdème (protocole de RICE : Repos, Glace, Compression, élévation). Après la phase aigüe, un traitement en kinésithérapie est conseillé afin de retrouver les amplitudes de mouvements physiologiques, notamment la dorsiflexion de cheville grâce à la mobilisation articulaire (grade C) active et passive, les mobilisations spécifiques, les postures, les techniques d'étirement (grade B)[38]. Il va également insister sur le renforcement musculaire des fibulaires (grade B)³[37,38], le travail de l'équilibre/proprioception (grade A)[38] et la reprogrammation neuromusculaire (grade C)³. D'après cette revue de littérature de 2019 [38] et les recommandations de la HAS³, le travail de l'équilibre semble être le moyen le plus efficace afin d'améliorer la fonction autodéclarée et la qualité de vie des patients souffrant de CAI. Il existe une multitude de programmes d'entraînement de l'équilibre qui diffèrent selon l'exercice proposé (statique ou dynamique), la durée, le rythme, l'intensité de l'exercice et la progression. Selon une méta-analyse, les protocoles d'entraînement à l'équilibre et les programmes de renforcement amélioreraient considérablement l'équilibre dynamique chez les patients atteints de CAI. Un alliage de ces deux interventions pourrait augmenter l'efficacité des options de traitement non chirurgical de la CAI [39]. De plus, une revue de littérature de 2017 recommande la combinaison de traitements orientés comme par exemple sur l'équilibre et la force, souplesse, agilité avec un niveau de preuve de grade B [40].

L'entraînement pliométrique allie puissance, force musculaire et équilibre[41]. Cet entraînement pourrait donc-t-il intégrer les programmes de rééducation des patients présentant une instabilité chronique de cheville ?

1.2. La pliométrie

1.2.1 Etymologie et définition

Le terme pliométrie est dérivé du mot grec « pleythyen » signifiant « augmenter » ou « améliorer » et des mots grecs plus courts, plio (« plus ») et plyo (« se déplacer »). « Métrique » signifie « mesurer » ou « longueur » [11]. Ce terme a initialement fait son apparition dans la littérature

sportive russe avec les travaux de Zatsiorsky en 1966 [42]. La pliométrie est ensuite utilisée dans les années 1960 par Yuri Verkhoshansky (docteur Russe) dans l'entraînement des triples sauts et il déclare par la suite que les individus pouvaient considérablement améliorer leurs performances en effectuant des exercices de sauts progressifs [11]. Le succès de la Russie aux Jeux Olympiques dans les années 60/70, a conduit les Américains à s'intéresser à ce type d'entraînement. Un entraîneur Américain nommé Fred Wilt l'a étudié avant de l'importer aux USA. A la suite de cela, de nombreux préparateurs physiques intègrent la pliométrie dans leur programme¹⁴.

Il s'agit d'une méthode de renforcement caractérisant un muscle soumis rapidement à l'enchaînement de son allongement (phase excentrique) et raccourcissement (phase concentrique). Cet étirement rapide va provoquer de façon automatique le réflexe myotatique en contractant le muscle. Les termes « cycle étirements-raccourcissement » (CER) ou « stretch-shortening cycle » sont également employés. L'étude de l'élasticité musculaire a conduit au concept « d'énergie élastique stockée », qui est l'énergie récupérable que la déformation tissulaire visco-élastique génère dans la phase excentrique du mouvement ; celle-ci étant alors restituée dans la phase concentrique du mouvement. Il s'agit d'une méthode basée sur le développement de la puissance explosive souvent utilisée par les entraîneurs, les athlètes ou encore les préparateurs physiques. La puissance explosive correspond au fait de développer un maximum de force très rapidement. Certains entraîneurs d'équipe de football des pays nordiques avaient recours dans leur routine à l'utilisation de petites haies afin de réaliser des séries de sauts successifs [11].

1.2.2 Principes

Ce type de contraction se décompose en 3 phases[41,43] ¹⁵ :

- **La phase de pré-étirement excentrique** : aussi nommée phase de potentialisation, de préparation, de facilitation, de contre force ou encore de contre mouvement ; il s'agit d'une phase d'allongement musculaire rapide correspondant à la phase d'emmagasinement d'énergie. Elle consiste à étirer à la fois les fuseaux neuromusculaires des unités « muscle-tendon » et le tissu non contractile de la structure musculaire (les Eléments Elastiques en Série (EES) et les Eléments Elastiques Parallèles (EEP)). Cette stimulation des composants musculaires est souvent appelée réponse neurophysiologique-biomécanique. De plus, la littérature a su démontrer que cette phase va permettre de potentialiser la contraction musculaire concentrique qui en résultera par la suite. Cette phase d'étirement excentrique repose sur trois variables : la durée, vitesse et amplitude de l'étirement. La manipulation de l'une de ces variables aura un impact sur la quantité d'énergie stockée pendant le mouvement de pré-étirement excentrique.
- **La phase d'amortissement ou « time to rebound »** : cette phase correspond à une courte période de repos correspondant au temps écoulé entre l'arrêt du pré-étirement excentrique et le début de l'action musculaire concentrique. Cette phase d'amortissement correspond au délai entre le dépassement du travail négatif du pré-étirement excentrique afin de générer la production de force, l'accélération de la contraction musculaire dans la direction du schéma de mouvement pliométrique. Plus cette phase est rapide, plus elle permettra l'augmentation

¹⁴ <https://holifit.fr/2013/08/pliometrie.html> (accessed October 28, 2021).

¹⁵ [Plyometric training...when does rehabilitation need a spring in its step? \(sportsinjurybulletin.com\)](#) (accessed December 9, 2021)

de la puissance musculaire car l'énergie stockée sera utilisée de manière efficace dans la transition. En effet si la phase d'amortissement est retardée, l'énergie stockée sera dépensée sous forme de chaleur, le réflexe d'étirement ne sera pas activé ainsi, le travail positif de la contraction concentrique ne sera pas efficace. L'un des principaux objectifs de la méthode pliométrique est de réduire le temps de la phase d'amortissement.

- **La phase concentrique** : aussi nommée « phase de performance », de « production d'énergie résultante », « phase facilitée » ou « phase d'amélioration de la pliométrie » il s'agit d'une phase de raccourcissements musculaires. Cette dernière phase est le résultat d'interactions dont la réponse biomécanique utilise les caractéristiques élastiques des muscles préétirés.

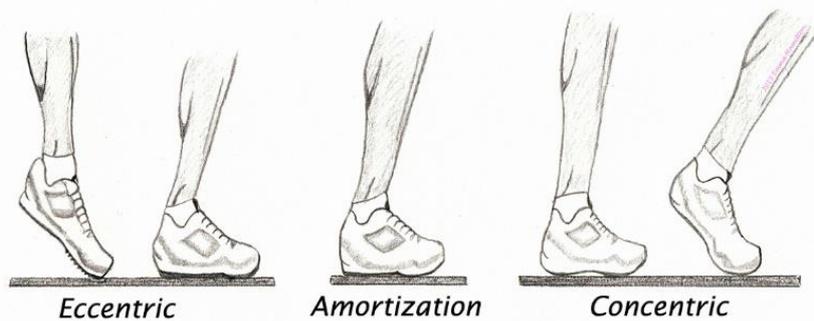


Figure 2: Phases du cycle étirement-raccourcissement¹⁵.

Le patient va répéter ce cycle le plus rapidement possible, l'objectif étant de diminuer le temps entre les mouvements concentriques et excentriques. Ce sont ces diminutions de temps qui vont permettre à l'individu de devenir plus puissant et rapide tout en améliorant les fonctions musculaires, tendineuses et nerveuses [41]. De nombreuses recherches ont pu montrer qu'un entraînement pliométrique adapté et progressif permet d'améliorer la performance sportive, mais également de diminuer de manière significative le nombre de blessures sportives graves comme les déchirures du ligament croisé antérieur, les fractures du membre inférieur, pieds et de la cheville [11]. Nous pouvons alors poser l'hypothèse que la pliométrie pourrait être une technique pouvant améliorer le paramètre de contrôle de la stabilité dynamique. En effet comme dit précédemment, les patients présentant une CAI montre souvent un déficit du contrôle postural dynamique. De plus, il est important de mettre en place des variations dans l'entraînement car bien souvent les individus s'habituent aux exercices et on ne constate plus d'évolution [11].

1.2.3 Pliométrie : indications, précautions, risques.

Etant une méthode de renforcement à haute intensité il faut la pratiquer en prenant certaines précautions. En effet, certaines directives doivent être considérées comme : l'âge du patient, les antécédents de blessure, le type de blessure, les échauffements appropriés avant de commencer les exercices pliométriques, la force de base ainsi que l'expérience éventuelle en entraînement contre résistance. Certains auteurs indiquent que les cliniciens doivent adapter les exercices aux objectifs individuels de chaque patient.

Chaque mouvement spécifique impliqué dans l'exercice devrait être réalisé initialement de manière isolée car si un muscle ne parvient pas à travailler correctement dans un schéma isolé il ne parviendra

pas à travailler convenablement dans un schéma coordonné total [43]. La pliométrie est alors conseillée uniquement aux individus ou aux athlètes ayant déjà acquis un niveau de force suffisant grâce à un entraînement contre résistance classique [41]. Elle doit utiliser les principes de progression et de surcharge ; pouvant être réalisés en dosant les répétitions, séries, poids...

Pour la pliométrie, la qualité de travail est plus importante que la quantité de travail. Pour recruter les fibres musculaires à contraction rapide, l'intensité du travail doit être élevée. « En effet, les fibres à contraction lente sont généralement recrutées à des efforts d'intensité sous maximale, puis à mesure que l'intensité augmente, les fibres IIa à contraction rapide sont recrutées à environ 30 % jusqu'à environ 80 % de l'intensité maximale. À environ 70 à 80 % d'intensité, les fibres à contraction rapide IIa, IIb sont ensuite recrutées. Ainsi, la pliométrie doit être effectuée avec des efforts de haute intensité, supérieure à 80%, pour recruter les fibres à contraction rapide». Le taux d'étirement musculaire est plus important que la longueur de l'étirement. Il s'agit d'exercices physiquement très fatigants pour le patient, il est donc important de réaliser des périodes de repos au cours de la séance. Malgré l'absence de preuves scientifiques concernant la période de repos entre les séances certains auteurs recommandent 48 à 72 h entre les séances [43].

La pliométrie peut en effet avoir des effets négatifs et particulièrement dans sa phase initiale, la phase excentrique. En effet d'après une étude, des dommages au niveau cellulaire peuvent être constatés une altération de l'homéostasie du calcium, une réaction inflammatoire, ainsi qu'un excès de protéines du stress lors de cette phase. Elle souligne que des variations concernant la fonction musculaire peuvent parfois être observées après la pratique d'exercice pliométrique : au niveau cellulaire par une anomalie du transport du glucose et des lactates/H⁺ ; ou encore au niveau macro-cellulaire par l'augmentation de la raideur musculaire [44]. Cette haute intensité ainsi que la répétitivité des contractions excentriques, produisent parfois des microlésions du tissu conjonctif causants parfois un retard d'apparition des douleurs musculaires appelées aussi DOMS « *Delayed Onset Muscle Soreness* ». De plus, l'amélioration des performances de saut après un entraînement pliométrique est plus due à un changement des propriétés mécaniques du complexe musculo-tendineux qu'à l'activation musculaire. L'ensemble de ces éléments suggère que l'entraînement pliométrique présente un risque de blessure chez des sujets jeunes en pleine croissance et pourrait donc induire une contre-indication chez cette population [41]. De plus, il est intéressant de dire que « à mesure que l'âge augmente, la capacité du système nerveux, la souplesse des muscles et des articulations, et la production d'énergie diminuent » ce qui peut rendre la pliométrie moins attrayante pour les personnes plus âgées. Mais des études suggèrent que « la diminution de l'explosivité ne serait que partiellement due au vieillissement naturel » : le style de vie aurait une influence. L'utilisation continue de ce type d'exercice à intensité modérée en respectant la progression pourrait être efficace pour améliorer ces paramètres pour des athlètes vétérans[11].

1.2.4 Pliométrie et contrôle postural

Les blessures de la cheville entraînent souvent une perturbation des muscles et des tendons avec des dommages associés aux mécanorécepteurs inhérents, qui altèrent la qualité des informations proprioceptives nécessaires au contrôle de l'équilibre. Une proprioception de la cheville non réadaptée et altérée après une blessure à la cheville peut par la suite entraîner une détérioration à long terme du contrôle postural et de l'équilibre[45].

Le contrôle postural, également appelé stabilité posturale correspond aux différents mécanismes permettant de maintenir une position. Il dépendra de plusieurs paramètres¹⁶ :

- *la posture* : elle aura un rôle antigravitaire
- *le tonus* : il aura comme principal objet de s'opposer à la gravité et pourra être décrit comme un état permanent de tension musculaire.
- *l'équilibre* : celui-ci correspond à la capacité d'un individu à maintenir son centre de gravité ou centre de masse (COM) dans le polygone de sustentation. Ceci est réalisé principalement en modulant le centre de pression (COP), représentant le balancement du corps en modifiant la tension des différents muscles de la cheville[46].

Le maintien d'un contrôle postural sera le résultat d'un travail en cohésion de la posture et du mouvement¹⁶. Il est important de dire que le contrôle postural est représenté par un système constitué de quatre sources principales d'entrée : le système visuel, le système vestibulaire, les capteurs proprioceptifs (fuseaux neuromusculaires, organes tendineux de golgi, corpuscules de Pacini) et l'attention consciente (ressources attentionnelles). Les informations en provenance de ces sources d'entrées se rejoignent dans les structures sous-corticales et corticales du système nerveux central. La partie principale de ce système est le cervelet qui effectue la majorité de l'analyse du signal d'entrée. En tant que sortie du système, des impulsions nerveuses correctives sont générées, permettant de réguler la tension basale et contrôler les contractions des muscles individuels du corps humain [46] .

Il faut souligner que l'ensemble de nos mouvements implique toujours des ajustements posturaux (AP). Ils ont pour rôle de stabiliser la posture afin de maintenir l'équilibre du corps de l'individu malgré le désordre causé par la réalisation du mouvement. Ils peuvent apparaître en même temps ou quelques millisecondes avant la réalisation du mouvement volontaire. Dans ces cas on parle alors d'AP anticipées. De plus, leur rôle est également de faciliter le mouvement, stabiliser la posture afin de réduire les déséquilibres pouvant être causés par le mouvement qui va être réalisé par la suite[47].

Il est important de parler du contrôle moteur, appelé également contrôle neuromusculaire. Celui à toute son importance au sein du contrôle postural puisqu'il s'intéresse à l'activation des différents muscles nécessaires afin de maintenir l'intégrité et la stabilité des articulations de notre corps lors du mouvement. « Cette stabilité va permettre la diminution du stress mécanique exercé sur les différentes structures de notre corps. Comme dit précédemment, la stabilité articulaire est due à des structures passives (capsules, ligaments, os) et des structures actives correspondant aux muscles stabilisateurs et mobilisateurs. Parmi les structures passives, certaines peuvent être lésées et ne pourront plus assurer leur rôle de stabilité. Ceci peut être causé par des microtraumatismes répétés dus à une dysfonction de mouvement ou postural, rendant l'articulation instable. De ce fait, pour éviter la récurrence des blessures et redonner à l'articulation une certaine stabilité, des exercices spécifiques centrés sur les muscles stabilisateurs doivent être mis en place »¹⁷.

Les propriocepteurs du corps humain sont constitués de fuseaux neuromusculaires (FNM), des organes tendineux de Golgi (OTG) et de mécanorécepteurs localisés dans la capsule articulaire et les ligaments. Lorsque le FNM est étiré, il y a une augmentation de la décharge du nerf afférent. La force du signal

¹⁶ <https://www.broussal-derval.com/2019/04/16/le-controle-postural/> (accessed November 2, 2021).

¹⁷ <https://www.evolutionphysio.com/approches-specialisees/controle-moteur/> (accessed November 8, 2021).

qui est envoyée à la moelle épinière par le FNM dépend de la vitesse de l'étirement appliqué. Plus la vitesse de l'étirement est rapide, plus le signal neurologique envoyé par le FNM est fort et, par conséquent, plus la contraction musculaire efférente est importante (le cycle de raccourcissement du mouvement pliométrique). L'OTG a un rôle important dans le cycle pliométrique d'étirement-raccourcissement. Son rôle est d'agir comme un réflexe protecteur afin d'empêcher l'apparition d'une tension trop importante dans le muscle. Il a donc pour rôle de moduler les forces lors de la réalisation d'exercices pliométriques. L'entraînement pliométrique va permettre d'améliorer les performances neuromusculaires en augmentant la vitesse définie à laquelle les muscles peuvent agir. En fin de compte, ce mécanisme pourrait alors permettre une amélioration du système neurologique pour permettre à la coordination neuromusculaire de devenir plus automatique[43].

1.2.5 Pertinence et objectif de cette revue de littérature

Cette revue de littérature est basée sur l'*Evidence Based Practice (EBP)*, en français la pratique basée sur les preuves. Il s'agit de : « l'utilisation consciencieuse et judicieuse des meilleures preuves actuelles en conjonction avec l'expertise clinique et les valeurs des patients pour guider les décisions en matière de soins de santé ». L'EBP permet aux professionnels de santé, notamment les Masseurs-kinésithérapeutes, d'enrichir leurs connaissances scientifiques pratiques et théoriques. Cela peut également leur permettre de réaliser les meilleurs traitements appropriés à leur patientèle et notamment de réduire leur doute face à certaines pratiques¹⁸.

Comme nous l'avons vu, précédemment les cas d'entorses de cheville sont très élevés en France. Et malgré l'existence de traitements, il y a beaucoup de récives qui conduiront à une instabilité chronique de cheville. Ceci représente un véritable problème de Santé Publique. Il y a alors, un enjeu économique important. Cette pathologie suscite de nombreux questionnements comme le fait de donner à nouveau une certaine stabilité à la cheville en évitant de passer par la case de « chirurgie ». Pour cela la méthode pliométrique pourrait être une nouvelle directive de recherche concernant le traitement des patients souffrant de CAI pour les traiter et évidemment éviter le risque de récives. Celle-ci présente un intérêt majeur dans cette revue de littérature. Il est intéressant de soulever qu'il s'agit d'une méthode plutôt récente datant d'une cinquantaine d'années mais dont les caractères posturaux et neuromusculaires ont été développés il y a peu au sujet de la cheville. Il est alors important grâce aux données disponibles de la science, de faire un bilan de son efficacité afin de traiter les patients présentant une CAI.

Cette revue de littérature aura pour but d'analyser l'impact de la pliométrie sur l'amélioration du contrôle postural dynamique chez les patients souffrant d'instabilité chronique de cheville. A ce jour aucune revue de littérature n'a été réalisée à ce sujet.

Question de recherche :

La pliométrie permet-elle d'améliorer le contrôle postural dynamique des patients présentant une instabilité chronique de cheville ?

¹⁸ . <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK2659/> (accessed November 8, 2021).

2. METHODE

2.1. Critère d'éligibilité des études pour cette revue

2.1.1 Types d'études

Les études sélectionnées pour la réalisation de cette revue de littérature thérapeutique seront des essais cliniques, de préférence randomisés car ils constituent le niveau de preuve le plus élevé concernant l'efficacité d'une nouvelle thérapie ou pratique selon les principes de L'EBP.

2.1.2 Type de population et pathologie

La population visée correspondra à des patients présentant des entorses récurrentes de la cheville au cours des 12 derniers mois, des patients présentant une instabilité fonctionnelle de cheville ou des patients souffrant d'instabilité mécanique de cheville : c'est-à-dire des patients présentant une CAI. Cette revue concernera la rééducation par la méthode pliométrique de CAI, quel que soit le mécanisme de la blessure, en absence de fracture associée, de chirurgie, de pathologies associées, de pathologie neurologique et pathologie vestibulaire. Les caractères précis du type de population seront détaillés et précisés lors des critères d'inclusion et d'exclusion.

2.1.3 Type d'intervention

L'intervention sera portée sur un groupe de patients qui recevra un traitement basé sur des exercices pliométriques. Les études pourront être encadrées par un masseur-kinésithérapeute, un entraîneur sportif, ou encore un préparateur physique. L'échantillon de l'étude devra réunir au moins 10 participants. L'intervention par les exercices pliométriques requerra des sauts répétés et intensifs. Des conseils pourront être donnés aux patients. Les différents protocoles devront comprendre un second groupe recevant un traitement comparateur. Par exemple un groupe recevant une autre thérapie recommandée, un groupe contrôle ne recevant aucun traitement, un groupe recevant deux traitements (ex : pliométrie + équilibre). Les individus de ce second groupe, nommé le groupe témoin devront également présenter un syndrome d'instabilité.

2.1.4 Objectifs et critères de jugement

L'objectif de cette revue sera d'analyser grâce aux différentes études retenues, l'efficacité du traitement par les exercices pliométriques afin de traiter les patients souffrant d'instabilité chronique de cheville ; en comparant les résultats obtenus avec un autre traitement validé pour traiter cette pathologie (et/ou placebo). Le critère de jugement principal sera le but de l'essai. On essaiera donc, d'utiliser des ECR qui chercheront à avoir un effet sur le contrôle postural dynamique. Ces essais pourront également traiter secondairement de l'évolution de l'amplitude articulaire de la cheville, car comme dit précédemment, un déficit d'amplitude articulaire de la cheville (notamment de flexion dorsale) est souvent rencontré chez les patients souffrants de CAI ; ou encore de la réactivité musculaire des muscles stabilisateurs de chevilles.

Les outils utilisés lors de l'évaluation du contrôle postural dynamique dans les différentes études seront de préférence : le SEBT, le YBT, le Multiple hop test ; ainsi que les plateformes de forces pour évaluer différents paramètres permettant d'apprécier la stabilité dynamique pourront également être utilisés.

Les paramètres cinématiques concernant l'amplitude de mouvement maximale (ROM) de la cheville devront si possible être extraits grâce à un système d'analyse du mouvement en utilisant des

marqueurs actifs ou passifs. Ceux-ci étant considérés comme les « gold-standard » de l'analyse du mouvement. Ils permettraient d'obtenir les données les plus fiables¹⁹.

L'activité musculaire des muscles stabilisateurs de chevilles pourra elle être mesurée à l'aide de l'électromyogramme (EMG). A ce jour, celui-ci est le meilleur indicateur de la fonction neuromusculaire pure et est considéré comme le nouveau « gold standard » par de nombreux experts [48].

La formulation de la question clinique sera formulée à l'aide du modèle PICO (Population Intervention, Comparateur, Outcome (ou critère(s) de jugement(s)).

Tableau 2: Modèle PICO utilisé.

| | | |
|---|--|---|
| P | <i>Population/patient/problème</i> | Patients souffrants d'instabilité chronique de cheville |
| I | <i>Intervention (intervention ou stratégie de prise en charge)</i> | Traitement pliométrique. |
| C | <i>Comparaison (comparateur)</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Absence de traitement • Autre stratégie thérapeutique • Associé à une autre stratégie thérapeutique/ absence de traitement. • Associé à une autre stratégie thérapeutique/ stratégie thérapeutique étudiée/ absence de traitement. • Associé à une autre stratégie thérapeutique/ autre stratégie thérapeutique/ absence de traitement. |
| O | <i>Outcome (critère(s) de jugement(s))</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <u>Principal</u> : Le contrôle postural dynamique • <u>Secondaire</u> : <ul style="list-style-type: none"> ○ L'amplitude de mouvement maximale de la cheville ○ L'activation neuromusculaire des muscles stabilisateurs de cheville |

Nous pouvons donc formuler la question clinique suivante :

La pliométrie pourrait-elle permettre d'améliorer le contrôle postural chez les personnes présentant une instabilité chronique de cheville ?

2.2. Méthodologie de recherche des études

2.2.1 Bases de données

Diverses bases de données seront utilisées pour la réalisation de cette revue de littérature telle que PEDro, PubMed, KineDoc, Cochrane Library et Google Scholar. Les études sélectionnées seront publiées en anglais et en français.

¹⁹ <https://sofpel.com/wp-content/uploads/2018/02/Guide-pratique-tech-V1.pdf> (accessed December 8, 2021).

2.2.2 Recherches supplémentaires

Le livre « High-Powered Plyometrics »[11] aura été consulté. Celui-ci m'aura permis de comprendre les différentes étapes et principes d'un entraînement pliométrique. Un livre provenant de la bibliothèque universitaire nommé « La cheville instable » [4] aura été un apport théorique non négligeable pour la réalisation de ce travail. D'autres recherches auront été effectuées sur le site de la HAS³, la sécurité sociale⁴, l'IRBMS¹, Concilio^{6;8}. Des articles publiés sur Pubmed auront été également d'une aide précieuse pour enrichir les données théoriques au sujet de l'instabilité chronique de cheville.

2.2.3 Equations de recherches utilisées

Pour cela, des mots-clés seront employés :

- Pour la population: « **chronic ankle instability** » et « **instability ankle** »
- Intervention: « **plyometric** » et « **plyometric training** » et « **stretch-shortening cycle exercise**»
- Pour les critères de jugements: « **postural control** » et « **neuromuscular control** » et « **biomechanics** »

Afin d'éviter d'écartier des articles intéressants, des mots-clés synonymes ainsi que des *mesh term* provenant d'He-Top seront utilisés dans les équations de recherches ci-dessous. Différents opérateurs booléens seront utilisés afin d'effectuer un enchaînement de mots-clés appropriés.

Voici les équations adaptées à chaque base de données utilisées :

Tableau 3: Modalités de recherche

| <u>Bases de données</u> | <u>Équation de recherche</u> |
|-------------------------|---|
| PubMed | ((plyometric) OR (plyometric exercise) OR (plyometric training) OR (stretch-shortening cycle exercise) OR (stabilization training) OR (dynamic balance training)) AND ((postural control) OR (proprioception) OR (dynamic stabilization) OR (ankle stabilization)) AND ((biomechanical phenomena) OR (biomechanics) OR (kinetics) OR (neuromuscular control) OR (muscular activity)) AND ((chronic ankle instability) OR (instability ankle) OR (mechanical ankle instability) OR (functional ankle instability)) |
| Pedro | Plyometric* ankle instability |
| KineDoc | (pliométrie OU exercice pliométrique) ET (instabilité chronique de cheville) |
| Cochrane library | (plyometric*) AND (chronic ankle instability) |
| Google scholar | instability ankle mechanical or functional plyometric postural control dynamics stability SEBT medial hop test ankle -cruciate -ligament |

2.3. Extraction et analyse des données

2.3.1 Sélection des études

Dans un premier temps, les doublons seront éliminés. Par la suite des critères d'inclusions et d'exclusions seront mis en place afin de trier les articles selon 3 étapes.

➤ **Critères d'inclusions :** Seront incluses les populations présentant une instabilité chronique de cheville. Les populations incluses pourront présenter une instabilité de cheville fonctionnelle ou mécanique puisqu'il s'agit d'un type d'instabilité chronique de cheville. L'intervention doit être conduite par un kinésithérapeute certifié, entraîneur sportif, ou encore un préparateur physique.

Le traitement pliométrique doit chercher à agir sur le contrôle postural dynamique.

Les études publiées en texte intégrales seront incluses. De plus, les essais contrôlés randomisés seront priorisés, comme dit précédemment afin d'éviter des biais, vu qu'ils constituent le niveau de preuve le plus élevé concernant l'efficacité d'une nouvelle thérapie.

Nous tiendrons compte de la date de publication des études. Les études ayant été publiées au cours des 15 dernières années seront priorisées.

➤ **Critères d'exclusions :** les populations atteintes d'instabilité de cheville due à une pathologie neurologique, vestibulaire, inflammatoire, chirurgicale, infectieuse, malformative, ou due à fracture ne seront pas incluses. L'existence de pathologies associées du membre inférieur conduira à une exclusion de l'étude. Les études ne détaillant pas assez les pathologies des participants seront exclues. Les études incluant un nombre de participant inférieur à 10 seront exclues. Après mon analyse de la qualité méthodologique des études grâce à l'échelle PEDro (*cf : 2.3.2 Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées.*), nous retiendrons si possible et selon le nombre d'études dont nous disposerons, celles qui présenteront le meilleur score PEDro.

Les revues systématiques de littérature, les mémoires, les protocoles d'études seront également exclus.

La sélection des études s'effectuera alors selon 3 étapes :

- **Selon le titre :** les articles seront filtrés par la lecture de leurs titres. Il faudra que ceux-ci mentionnent les termes à propos de la pathologie : « chronic ankle instability », « instability ankle », « functional ankle instability », « mechanical ankle instability » ; ainsi que les termes concernant l'intervention « plyometric », « plyometric training », « plyometric exercise », « stretch-shortening cycle exercise ».
- **Selon l'abstract :** un second tri sera réalisé par la lecture de l'abstract. Il sera important de vérifier si le titre annoncera bien le contenu de l'étude.
- **Selon la lecture du contenu :** un troisième et dernier tri sera réalisé, afin d'être certain que les articles sélectionnés correspondront à mon sujet d'étude selon les critères d'inclusion et d'exclusion énoncés précédemment.

2.3.2 Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées.

Comme dit dans les parties précédentes, les études incluent pour la réalisation de cette revue seront des essais contrôlés randomisés. Ceux-ci représentent en effet le meilleur schéma d'étude pour répondre à une question de type thérapeutique.

L'échelle *Physiotherapy Evidence Database (PEDro)* [49] et la *Cochrane Risk of bias tool* [50] sont les deux outils les plus utilisés afin d'évaluer la qualité méthodologique d'essais contrôlés randomisés. Pour la réalisation cette revue, la traduction française de l'échelle PEDro²⁰ (cf : *Annexe 3*) sera utilisée pour identifier les essais cliniques randomisés et apprécier leur puissance scientifique.

Cette échelle constituée de 11 items évalue la « validité » d'un article :

- Le 1^{er} item permet de confirmer la validité externe de l'étude. Celle-ci va permettre de vérifier si les résultats sont adaptés et extrapolables ; en soit cela permet d'indiquer si l'échantillon observé au sein de l'étude représente la population cible.
- Les items 2 à 9 vont permettre d'évaluer la validité interne de l'étude. Celle-ci quant à elle permet d'évaluer la fiabilité des résultats de l'étude sur la population cible ; c'est-à-dire qu'un lien de cause à effet fiable du traitement sur la pathologie pourra être établi.
- Les items 10 et 11 d'évaluer la validité statistique qui va permettre son interprétation.

Comme dit précédemment le score PEDro est sur 11 critères, cependant le 1^{er} item n'étant pas comptabiliser dans le calcul du score total nous obtenons un score sur 10 points. Celui-ci sera calculé de la manière ci-après :

- « non » le point n'est pas attribué
- « oui » 1 point est attribué.

Pour attribuer ce point et répondre « oui » à chacun des items il faudra que le critère correspondant soit totalement rempli et qu'il soit clairement cité dans l'article.

Si le score PEDro d'une étude se rapprochera d'une valeur de 10/10, celle-ci aura une bonne qualité méthodologique. Si une étude aura un score compris entre 6/10 et 10/10 cela certifiera un haut niveau de qualité méthodologique ; un score compris entre 4/10 et 6/10 représentera un niveau modéré de la qualité méthodologique de l'étude et un score inférieur à 4/10 un niveau faible.

Cependant, le résultat des scores PEDro des études sont à considérer avec précautions car un score PEDro trop élevé peut quand même présenter certains biais et peut aussi ne pas présenter de résultats cliniquement significatifs. D'autres outils comme la taille de l'effet et l'intervalle de confiance devront être utilisés afin de pouvoir juger de la pertinence d'un traitement.

2.3.3 Extraction des données

Le système de sélection des différentes études incluses provenant des différentes bases de données sera résumé au sein d'un diagramme de flux.

Par la suite, les données extraites des différentes études incluses au sein de cette revue, seront regroupées sous forme d'un tableau afin de comprendre et comparer plus simplement toutes ces informations.

Les données qui seront extraites sont les suivantes :

- L'auteur ainsi que l'année de publication
- Le type d'étude
- La taille de l'échantillon

²⁰ <https://pedro.org.au/french/resources/pedro-scale/> (accessed November 18, 2021).

- Les caractéristiques de la population cible (âge, genre, activité, type de blessure)
- Les conditions et caractéristiques du traitement étudié
- Les caractéristiques du traitement comparatif
- Les caractéristiques du ou des critères de jugement(s) (principal, secondaire, outil(s) de mesure(s))

2.3.4 Méthode et synthèse des résultats

Un tableau de synthèse sera réalisé. Il permettra de regrouper les résultats en fonction de leur critères de jugements ainsi que leur méthode d'évaluation ; et d'en analyser les effets statistiques. Si possible, une méta-analyse présentant ses résultats sous forme de « forest-plot » sera également réalisée pour présenter les résultats de cette revue.

L'analyse des résultats sera appuyée sur les paramètres suivants :

- ***La différence inter-groupe*** correspond à la taille de l'effet du traitement (ES). La ES permettra de décrire dans quel cas l'hypothèse nulle sera fausse. Plus la ES sera grande, plus il sera juste de rejeter l'hypothèse nulle. Cette ES sera obtenue en faisant la différence des moyennes obtenues de chaque groupe à la fin du traitement.

- ***L'intervalle de confiance à 95% (IC à 95%)*** de cette taille d'effet. Il s'agit d'un intervalle représenté par les bornes supérieures et inférieures, qui a 95% de chance de contenir la valeur de la taille de l'effet.

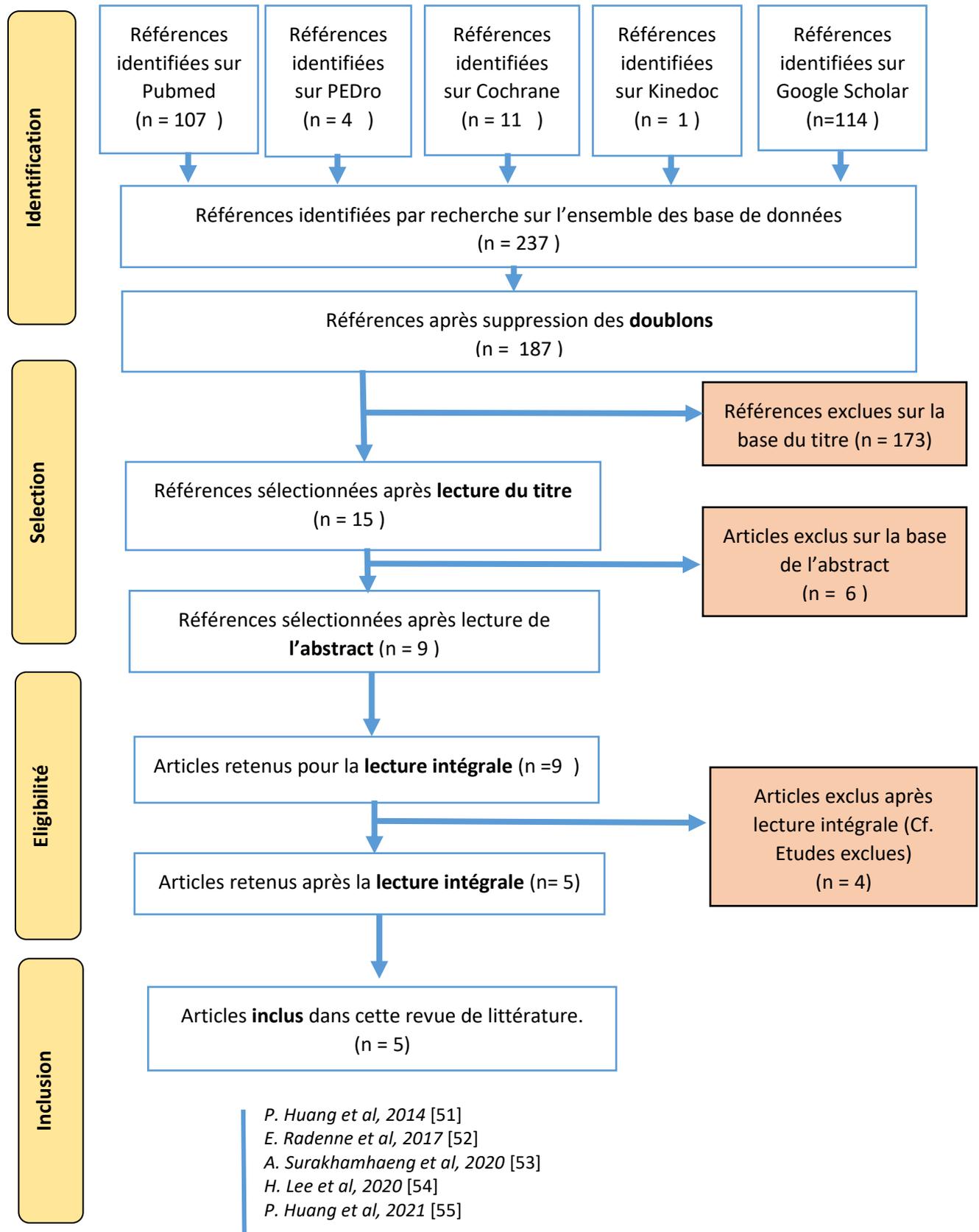
Statistiquement, c'est un intervalle t_1, t_2 tel que probabilité $(t_1 < \theta < t_2) = 1 - \alpha$. Celui-ci nous permettra d'obtenir la précision de l'estimation obtenue et va donc représenter la taille d'effet à 95% de la population.

De plus, le risque α est le seuil de risque de l'estimation. Il s'agit du risque de dire que la différence n'est pas due au hasard alors qu'elle est due au hasard. La formule mathématique $P = 1 - \alpha$, correspondant au seuil de confiance. Si $\alpha = 5\%$ alors le risque sera faible et donc raisonnable.

3. RESULTATS

3.1. Diagramme de flux

Figure 3: Diagramme de flux



3.1.1 Etudes exclues

A la suite des différentes recherches réalisées sur les différentes bases de données et supprimé les doublons (n= 50), 187 résultats nous ont été proposés. La sélection des articles a été réalisée selon différentes étapes afin de répondre de manière plus pertinente à notre sujet.

➤ Exclusion après lecture du titre (n = 173)

Ce premier tri d'article nous a permis de rapidement identifier les études hors sujet ainsi que les schémas d'études non appropriés, en conservant à la fois les articles qui semblaient pertinents. Les articles étaient exclus lorsque le thème ou le schéma d'étude qui étaient énoncés dans le titre, ne correspondaient pas à notre sujet. Suite à cette étape, 15 articles pourraient potentiellement être inclus dans cette revue.

➤ Exclusion après lecture de l'abstract (n= 6)

La lecture de l'abstract permet d'obtenir plus d'informations au sujet des articles sans réaliser une lecture intégrale de ceux-ci. Lorsque les informations apportées par l'abstract ne correspondaient pas aux critères d'inclusions de cette revue, les articles étaient exclus. Suite à cette étape, 9 articles pourraient potentiellement être inclus dans cette revue et ont été retenues pour la lecture intégrale.

➤ Inclusion après lecture intégrale (n= 5)

Il s'agit de l'étape essentielle dans la sélection des articles pour la réalisation de cette revue de littérature. Cette étape nous aura permis d'écarter 4 articles pour les raisons énoncées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4: Etudes exclues et motif d'exclusion après lecture intégrale.

| | |
|--------------------------------|--|
| M. Ardarkani et al, 2019 [56] | Le critère de jugement principal de notre revue n'était pas étudié dans cette étude. |
| E. Hall et al, 2015 [57] | Les critères d'inclusions concernant « l'intervention » n'étaient pas respectés. En effet, l'intervention ne consistait pas à comparer l'entraînement pliométrique à une autre technique. De ce fait l'étude a été exclue. |
| G. Myer et al, 2006 [58] | La population n'était pas conforme aux critères d'inclusions de la revue. Il s'agissait d'athlètes féminines présentant ou non des lésions du ligament croisé antérieur du genou. |
| H. Minoonejad et al, 2019 [59] | Le critère de jugement principal de notre revue n'était pas étudié dans cette étude. |

3.1.2 Etudes incluses

- P. Huang et al, 2014 [51]
- E. Radenne et al, 2017 [52]
- A. Surakhamhaeng et al, 2020 [53]
- H. Lee et al, 2020 [54]
- P. Huang et al, 2021 [55]

L'ensemble des études incluses pour la réalisation de cette revue possèdent le même schéma d'étude. Il s'agit d'essais cliniques contrôlés randomisés (ECR).

○ **Populations :**

Les cinq études sélectionnées analysent des patients présentant une instabilité chronique de cheville. L'étude de *Huang et al, 2014* [51] inclue dans son étude des athlètes universitaires présentant une instabilité fonctionnelle de cheville. Celle de *Huang et al, 2021* [55] analyse au sein de son étude des athlètes amateurs. Il est important de noter que ces deux études ont choisi d'intégrer des patients présentant des lésions bilatérales ; dans ces cas la cheville de l'individu présentant le score CAIT le plus bas était prise en compte dans l'étude afin de promouvoir la performance fonctionnelle qui maintient l'équilibre statique et dynamique ainsi que le contrôle kinesthésique. Quant à l'étude de *Lee et al, 2020* [54], il est précisé que les patients recrutés sont des athlètes de démonstration de taekwondo présentant une légère instabilité fonctionnelle de la cheville. Pour l'étude de *Surakhamhaeng et al, 2020* [53], il s'agissait de patient présentant une instabilité fonctionnelle de cheville. A noter qu'en cas de lésions bilatérales, la cheville présentant une lésion moindre a été sélectionnée pour l'étude. *Radenne et al, 2017* [52] a inclus au sein de son étude des basketteurs amateurs présentant une instabilité fonctionnelle de cheville.

○ **Interventions :**

Dans cette revue nous nous intéressons à l'utilisation des exercices pliométriques dans le cadre de la prise en charge de patients souffrant d'instabilité chronique de cheville, ce terme pouvant être utilisé afin de parler d'instabilité mécanique et/ou d'instabilité fonctionnelle. Les études sélectionnées pour la réalisation de celle-ci, nous permettent d'étudier différents programmes pliométriques ainsi que leur efficacité.

Les études de *Huang et al, 2014* [51] et *Huang et al, 2021*[55] étudient le même programme d'entraînement pliométrique. Les patients attribués au groupe d'intervention pliométrique ont suivi un programme de 6 semaines en 3 phases de progression. En effet, toutes les 2 semaines le programme se complexifiait (*cf: Annexe 4*). Ce programme était précédé de 10 minutes d'échauffement constitué de 3 minutes d'étirement et de 7 minutes d'exercices aérobiques. Au cours du programme 2 minutes de repos étaient accordées entre les exercices ; et à la fin de la session 5 minutes de récupération étaient réalisées par l'intermédiaire d'étirements. Les patients devaient réaliser leur programme 3 fois par semaine et participer au minimum aux deux tiers des séances (soit 12 sur 18 séances).

L'étude de *Lee et al, 2020* [54] étudie pour les patients attribués au groupe intervention pliométrique, un programme de 8 semaines réalisé 2 fois par semaine pendant 1 heure (*cf: Annexe 5*). Les patients ont effectué des exercices et de récupération pendant 10 minutes ; de ce fait l'intervention ne durait que 40 minutes. Un temps de repos de 30 secondes était attribué entre chaque exercice. Après 4 semaines d'exercice, le programme se complexifiait en fonction du score obtenu à l'échelle de Borg des sujets.

Dans le cadre de l'étude de *Radenne et al, 2017* [52], les patients ayant été attribués au groupe d'intervention pliométrique ont réalisé un entraînement de basketball de 1heure 30, deux fois par semaine pendant quatre semaines. Dans cet entraînement étaient intégrés pendant une durée moyenne de 15 minutes des exercices spécifiques pliométriques. (*cf: Annexe 6*).

Dans l'étude de *Surakhamhaeng et al, 2020* [53], les participants ayant été attribué au groupe pliométrique ont suivi un programme de 6 semaines 3 fois par semaine qui durait 20 minutes. Chaque session était précédée d'un échauffement et suivi d'un temps de récupération. Chaque séance était constituée de 4 types d'exercices (*cf: Annexe 7*). Deux séries de 15 répétitions devaient être réalisées pour chaque exercice ; ainsi un temps de repos de 60 seconde était accordé entre chaque série.

- **Comparateurs :**

Pour les études de *Huang et al, 2014* [51] et *Huang et al, 2021* [55] le groupe intervention pliométrique est comparé à deux autres groupes : un groupe intervention pliométrique associant également des exercices d'équilibre et un groupe témoin. Les études de *Lee et al, 2020* [54] et de *Surakhamhaeng et al, 2020* [53], comparent quant à elles le groupe interventionnel à un groupe de participants réalisant un programme d'exercice d'équilibre centré sur la stabilité de cheville. Concernant l'étude de *Radenne et al, 2017* [52], elle compare le groupe intervention pliométrique, à un groupe contrôle ainsi qu'à un groupe de participants réalisant des exercices de proprioception.

- **Critères de jugement :**

Dans un premier temps, l'ensemble des études sélectionnées étudient l'impact de l'intervention pliométrique sur le **contrôle postural dynamique**, qui est notre critère de jugement principal.

Lee et al, 2020 [54] étudie ce critère de jugement en utilisant le protocole du Y- Balance Test (*cf: Annexe 2*). Afin de compenser les différences de longueurs des membres inférieurs, des scores composites normalisés (CS), seront déterminés en additionnant les distances de portée dans chaque direction, en divisant le résultat par trois fois la longueur des membres inférieurs et en multipliant le résultat obtenu par 100 afin d'obtenir des pourcentages. De façon similaire l'étude de *Radenne et al, 2017* [52] étudie la stabilité dynamique en utilisant le Star Excursion Balance test (*cf: Annexe 1*) en utilisant seulement les composantes antérieure, postéro-médiale, et postéro-latérale (direction similaire à l'YBT).

Dans l'étude de *Lee et al, 2020* [54] un système d'analyse de mouvement 3D avec six caméras a été utilisé pour enregistrer les paramètres cinématiques et cinétiques du membre inférieur lors d'un atterrissage sur une jambe. Deux plaques de force ont été utilisées pour mesurer les forces de réaction au sol (GRF) et déterminer les centres de pression lors de l'atterrissage. En effet, tous les participants ont effectué un atterrissage d'une boîte de 45 cm de haut ; la distance entre la boîte et la plaque de force a été fixée à 20 cm. Le contrôle postural dynamique est donc étudiée par l'analyse du déplacement du centre de pression (COP). Les mesures du COP pour déterminer la stabilité de posture à l'atterrissage ont été classées en COP X (direction antéro-postérieure) et COP Y (direction médiale-latérale).

L'étude de *Huang et al, 2014* [51] étudie le contrôle postural dynamique en mesurant le temps de stabilisation de chaque articulation (hanche, genou et cheville) lors de la tâche d'atterrissage médiale et latérale d'une plateforme de 16 cm de haut ainsi que le déplacement relatif du centre de masse (COM) et COP. Pour cela un système d'analyse du mouvement avec 6 caméras infrarouges pour collecter les trajectoires des marqueurs et synchronisé avec deux plates-formes de force, ainsi qu'un jeu de 23 marqueurs du type Helen Hayes ont été utilisés.

Pour l'étude de *Huang et al, 2021*[55] la stabilité dynamique a été évaluée à l'aide d'un nouveau paramètre de temps d'ajustement, défini comme le temps écoulé entre le moment du contact du pied

au sol et le moment où le niveau d'activité musculaire est tombé à une valeur inférieure à la moyenne. Ce paramètre d'ajustement a été déterminé de manière indépendante pour les fléchisseurs dorsaux de chevilles et les fléchisseurs plantaires de cheville.

Surakhamhaeng et al, 2020 [53] étudie le contrôle postural dynamique par l'estimation du temps de stabilisation (TTS) dans la direction médiale-latérale (ML-TTS) et antéro-postérieure (AP-TTS) lors de la réalisation du test d'atterrissage sur une jambe. Ces résultats ont été recueillis à l'aide d'un système d'analyse de mouvement 3D, comprenant 10 caméras à grande vitesse et une plaque de force. Un ensemble de 16 marqueurs du membre inférieur a été utilisé. Tout comme l'étude de *Radene et al, 2017* [52] et l'étude de *Lee et al, 2020* [54], cet article étudie également la stabilité dynamique par l'utilisation du SEBT modifiée. Les valeurs obtenues ont permis de calculer la distance de portée normalisée des directions antérieure, postéro-médiale et postéro-latérale du SEBT grâce à la formule suivante : $\frac{\text{distance de portée absolue}}{\text{longueur de la jambe}} \times 100$. La distance de portée composite a été obtenue grâce à l'utilisation de la formule suivante : $\frac{\text{somme des distances des 3 directions}}{3 \times \text{longueur de la jambe}} \times 100$.

Les études de *Lee et al, 2020* [54] et *Huang et al, 2014* [51] s'intéressent à un de nos critères de jugement secondaires qui est **l'amplitude de mouvement maximale de la cheville**.

L'étude de *Lee et al, 2020* [54] étudie les paramètres cinématique de la cheville notamment la flexion dorsale et la flexion plantaire de cheville lors de l'atterrissage sur une jambe d'une boîte de 45 cm de haut sur une plaque de force. Un système d'analyse 3D connecté de deux plaques de force a été utilisé et 28 marqueurs ont été attachés à des repères anatomiques spécifiques des membres inférieurs ont été utilisés pour recueillir les résultats. Les résultats ont été recueillis au moment du contact initial du pied avec la plateforme de force et au moment où la flexion de genou était maximale.

L'étude de *Huang et al, 2014* [51] étudie les paramètres cinématiques de la cheville dans le plan sagittal et frontal après une tâche d'atterrissage médiale et latérale d'une boîte de 16 cm sur une plateforme de force. Les angles maximum et minimum au niveau de la cheville entre le contact et 500 millisecondes après le contact ont été marqués pour analyse. Un système de capture du mouvement, 6 caméras infra-rouges, et un jeu de 23 marqueurs de types Halen Hayes ont été utilisés.

Seule l'étude de *Huang et al, 2021* [55] étudie notre second critère de jugement secondaire qui est **l'activité neuromusculaire des muscles stabilisateurs de cheville**.

Le signal d'activité musculaire a été mesuré à l'aide d'un système électromyogramme appelé EMG de surface. Les électrodes bipolaires ont été placées sur les ventres musculaires du muscle tibial antérieur, du long fibulaire, du gastrocnémien médial, du gastrocnémien latéral et du soléaire de la jambe instable. Ces mesures ont été réalisées lors du test d'atterrissage médian sur une jambe pendant la phase de pré-atterrissage et post-atterrissage. La phase de pré-atterrissage correspond à la période de 200 ms immédiatement avant le contact avec la plaque de force tandis que la phase de post-atterrissage correspond à la période de 200 ms immédiatement après le contact avec la plaque de force. L'activité musculaire a ensuite été quantifiée en calculant l'aire sous la courbe de tension musculaire pendant la période de temps concernées. Elle est exprimée en pourcentage de pic d'activité musculaire en fonction du temps, soit en pourcentage par millisecondes (%.ms).

Tableau 5: Synthèse des caractéristiques des études incluses.

| Auteur, Année | Schémas d'étude | Taille de l'échantillon | Caractéristiques des patients | | | Description de l'intervention | Description du/des comparateur(s) | Critère de jugement | Mesure du critère de jugement |
|--------------------|---|--|---|--|---|---|--|---|--|
| | | | Age année, Moyenne (Ecart-types) | Genre | Types d'atteinte | | | | |
| Huang et al, 2014 | Essai clinique contrôlé randomisé, de 6 semaines avec 3 séances par semaine | 30 Perdus de vue : NC ↓ GP : 10 GI : 10 GC : 10 | GP : 23 (3) GI : 24 (4) GC : 23 (3) | GP : 8H/2F GI : 8H/2F GC : 7H/3F | Instabilité chronique de cheville unilatérale ou bilatérale | GP : Programme d'entraînement pliométrique pendant 6 semaines 3 fois par semaine. <u>GC : entraînement classique.</u> ²¹ | GE : Programme combinant entraînement pliométrique et exercices d'équilibre pendant 6 semaines 3 fois par semaine. <u>GC : entraînement classique.</u> ²¹ | Contrôle postural statique <u>Contrôle postural dynamique</u> ²² | Mesure YO et YF du SD du déplacement relatif ML et AP du COP. Mesure du TTS articulaires + déplacement relatif entre COM et COP avec un SAM lors du TAM et TAL. |
| Radenne et al 2017 | Essai clinique contrôlé randomisé, de 4 semaines. | 44 Perdus de vue : 14 ↓ 30 GP : 9 GPr : 10 GC : 11 | 22,2 (4,0) | 14 H 16 F | Instabilité fonctionnelle de cheville | GP : 2 séances d'entraînement de basketball classique + incorporation de 15 minutes d'exercices pliométriques | GPr : 2 séances entraînement de basketball classique + incorporation de 15 minutes d'exercices de proprioception. <u>GC : 2 séances d'entraînement de basketball classique</u> ²² . | <u>Contrôle postural Dynamique</u> ²³ ↗ | SEBT modifié (tache A ; P-M ; P-L) permettant d'obtenir un score SEBT. |
| Lee et al, 2020 | Essai clinique contrôlé randomisé de 8 semaines. | 14 Perdus de vue : NC ↓ GP : 7 GES : 7 | GP : 22,00 (1,73) GES : 23,57 (1,62) | NC | Légère instabilité fonctionnelle de cheville | GP : exercices pliométriques pendant 8 semaines, 2 fois par semaine pendant 1heure | <u>GES : exercices d'équilibre pendant 8 semaines 2 fois par semaine pendant 1heure</u> ²² . | <u>Contrôle postural dynamique</u> ²³ <u>ROM de la cheville</u> ²³ genou et hanche ↗ | YBT pour calculer des SC + déplacement des COP grâce au SAM lors du TA . Mesure d'amplitude articulaire de la cheville grâce au SAM lors du TA. |

²¹ Il s'agit du groupe comparateur utilisé pour la réalisation de cette revue (**en gras et souligné**)

²² Il s'agit des critères de jugement des études utilisés pour la réalisation de cette revue (souligné)

| | | | | | | | | | |
|---------------------------|--|---|--|--|---------------------------------------|--|--|--|---|
| Surakhamhaeng et al, 2020 | Essai clinique contrôlé randomisé de 6 semaines. | 20 Perdus de vue : NC ↓ GP : 10 GE : 10 | GP : 27,70 (4,94) GE : 25,10 (3,18) | 7 H 13 F | Instabilité fonctionnelle de cheville | GP : 4 types exercices pliométriques pendant 6 semaines 3 fois par semaine durant 20 minutes avec un niveau de difficulté augmentant au cours des semaines | <u>GE : 4 types d'exercices d'équilibre pendant 6 semaines, 3 fois par semaine durant 20 minutes avec un niveau de difficulté qui augmente au cours des semaines²².</u> | Contrôle postural statique <u>Contrôle postural dynamique²³</u> ↗ | Mesure YO et YF du SD du déplacement relatif ML et AP du COP. TTS M-L et A-P lors du TA + SEBT modifié (tache A ; P-M ; P-L) pour obtenir la DPC et DPN |
| Huang et al, 2021 | Essai clinique contrôlé randomisé de 6 semaines | 32 Perdus de vue : 2 ↓ 30 GP : 10 GI : 10 GC : 10 | Non communiqué (de 18 à 30 ans) | GP : 8H/ 2F GI : 8H / 2F GC : 7H/ 3F | Instabilité fonctionnelle de cheville | GP : exercices pliométriques 3 fois par semaines en séance individuelles pendant 6 semaines avec un niveau de difficulté augmentant au cours des semaines | GI : Exercices pliométriques et d'équilibres 3 fois par semaines en séance individuelles pendant 6 semaines avec un niveau de difficulté croissante <u>GC : Entraînement sportif classique²².</u> | <u>Contrôle postural dynamique²³</u> <u>Activité neuromusculaire des muscles stabilisateurs de cheville²³</u> Proprioception de la cheville ↗ | Temps d'ajustement à la réception au TAM sur une plaque de force. EMG pour mesurer le signal d'activité musculaire. Mesure de la perception de la position articulaire avec grâce à un électrogoniomètre. |

Abréviations : GP : groupe pliométrique ; GI : groupe pliométrique + équilibre ; GC : Groupe contrôle ; Gpr : Groupe proprioception ; GES : groupe exercice de stabilité de cheville ; GE : Groupe exercice d'équilibre ; H : Homme ; F : Femme ; YO : yeux ouverts ; YF : yeux fermés ; SD : écart-types ; ML : médial-latéral ; AP : antéro-postérieur ; COP : Centre de pression ; COM : Centre de masse ; GRF : force de réaction au sol ; TTS : temps nécessaire à la stabilisation ; SC : Scores composites ; ROM : Amplitude de mouvement maximale ; SAM : Système d'analyse du mouvement ; TAM : Test d'atterrissage médian ; TAL : Test d'atterrissage latéral ; SEBT : Star Excursion Balance Test ; YBT : Y- Balance Test ; TA : test d'atterrissage ; DPC : distance de portée composite ; DPN : distance de portée normalisée ; A : Antérieure ; P-M : Postéro-médiale ; P-L : Postéro-latérale ; NC : non communiqué ; ↗ : le résultat est favorable à l'intervention.

3.2. Risques de biais des études incluses

L'objectif premier de cette revue de littérature est de faire un état des lieux de la bibliographie scientifique à ce jour concernant notre sujet. Une analyse critique à propos de la méthodologie utilisée pour la réalisation de chacune des études est donc primordiale afin que notre revue de littérature soit pertinente. Un biais se définit comme « une démarche ou un procédé, qui peut engendrer des erreurs dans les résultats d'une étude »²³. Il est nécessaire d'étudier la dimension de ces biais. En effet, plus une étude présente de biais et au moins les résultats présentés par celle-ci seront fiables et extrapolables.

3.2.1 Grille d'analyse utilisée

L'échelle PEDro présentée dans la partie « méthode » a été utilisée afin de déterminer la qualité méthodologique des cinq études incluses pour la réalisation de notre revue de littérature. Cette dernière met en avant trois types de données qui sont la validité externe de l'étude, sa validité interne et l'ensemble des informations statistiquement requis pour interpréter les résultats. Malgré la volonté de réaliser un essai clinique le plus fiable possible ; sa fiabilité peut être diminuée par la présence de biais.

L'échelle PEDro va nous permettre de distinguer les principaux biais²⁴ :

- Items 1 : La Validité externe
- Items 2,3 et 4 : La répartition aléatoire, assignation secrète et biais de sélection.
- Items 5,6 et 7 : L'Aveuglement (des sujets, thérapeutes et examinateurs) et biais de détection.
- Items 8 et 9 : Les résultats incomplets et biais d'attrition.
- Item 10 et 11 : La quantité de données statistiques acceptables pour interpréter les résultats.

Tableau 6 : Score PEDro des études incluses.

| Etudes | Items Echelle PEDro | | | | | | | | | | | Total /10 |
|----------------------------------|----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| <i>Huang et al , 2014</i> | ● | ● | | ● | | | | ● | | ● | ● | 5/10 |
| <i>Radenne et al , 2017</i> | ● | ● | | ● | | | | | | ● | ● | 4/10 |
| <i>Lee et al, 2020</i> | ● | ● | | ● | | | | | | ● | ● | 4/10 |
| <i>Surakhamhaeng et al, 2020</i> | ● | ● | ● | ● | | | | | | ● | ● | 5/10 |
| <i>Huang et al, 2021</i> | ● | ● | ● | ● | | | | ● | ● | ● | ● | 7/10 |

²³https://fad.univ-lorraine.fr/pluginfile.php/23863/mod_resource/content/2/co/Generalites_1.html (accessed January 15, 2022).

²⁴<https://fr.slideshare.net/PEDro-SFP/echelle-de-pedro-validit-interne-dun-essai-clinique-11488147?fbclid=IwAR0MgJ63UKbW1HBI6h1NS6PzPJHBNiVsgi8Im50chF9W2qW4WR55kyYgh10> (accessed January 15, 2022).

3.2.2 Synthèse des biais retrouvés

Il est important de rappeler que les points aux items correspondants ont été attribués uniquement si le critère est clairement respecté.

❖ **Validité externe**

Pour cet item le point est affecté lorsque l'étude décrit la source de recrutement des sujets ainsi qu'une liste des critères utilisés afin de déterminer la population éligible à cette étude. Chaque étude incluse dans cette revue présentait les critères d'inclusions, d'exclusions des sujets étaient explicitement énoncés. Il est essentiel de rappeler que le point attribué à cet item ne rentre pas en compte dans le calcul du score total PEDro. Cet item est en fait un indicateur qui permet de savoir si les résultats correspondants à la population étudiée dans nos essais cliniques sont extrapolables à plus grande échelle.

❖ **Répartition aléatoire, assignation secrète et biais de sélection**

Ici les items en question concernent la répartition des sujets dans les différents groupes. Chaque étude incluse dans cette revue de littérature remplit l'item 2 de l'échelle PEDro, énonçant que les patients ont été répartis de façon aléatoire dans les différents groupes. Cependant, seulement les études de *Surakhamhaeng et al, 2020* [53] et *Huang et al, 2021* [55] ont rempli l'item 3, c'est à dire respecter une assignation secrète. Ceci signifie que la personne responsable d'inclure ou non les sujets dans les études ne savait pas à quel groupe d'intervention ils seront attribués à cet instant. En revanche comme nous pouvons le voir dans notre tableau 6, les autres études ne relèvent pas cette modalité. L'ensemble des études respecte l'item 4, c'est-à-dire que les différents groupes élaborés ne présentaient pas de différences significatives avant le début de l'étude.

❖ **Aveuglement et biais de détection**

Au sein d'une étude l'aveuglement peut concerner les examinateurs (item 7), les thérapeutes (item 6) ainsi que les sujets (item 5). Cet aveuglement explique alors qu'ils ne savent donc pas à quel groupe ils ont affaire. Comme nous permet de le constater le tableau 6, les études incluses dans cette revue de littérature ne remplissent pas le critère d'aveuglement des sujets ni celui des thérapeutes. Cela tire son origine du fait que l'intervention étudiée au sein de cette revue, soit la pliométrie ; compromet probablement cet aveuglement. On peut supposer que les sujets et les thérapeutes sont capables de faire la différence entre une intervention impliquant des exercices pliométriques, et une intervention impliquant des exercices d'équilibre, proprioception ou encore une absence d'intervention. Cette notion de non aveuglement peut entraîner un biais dit de performance causé par l'effet placebo pour les sujets, à la motivation ou bien le manque de motivation du thérapeute en regard de l'intervention. Tout cela va avoir des conséquences sur l'effet du traitement observé. De plus nous constatons qu'aucune de nos études ne remplissent le critère d'aveuglement de l'examineur. Cela peut constituer un réel biais de détection ; ainsi les personnes qui rapportent les résultats et qui s'occupent de leur analyse pourront être influencées.

❖ **Résultats non complets et biais d'attrition**

Chacune des études incluses mentionnent clairement le nombre de sujets attribués dans les différents groupes et le nombre de sujets ayant été évalués au regard des différents critères de jugement. Cependant, seulement les études *Huang et al, 2014* [51] et *Huang et al, 2021* [55] remplissent l'item

8 de l'échelle PEDro ; c'est-à-dire que l'ensemble des mesures ont été effectuées sur au moins 85% de la population de départ.

Par ailleurs, l'étude de Huang et al, 2014 [51], de Lee et al, 2020 [54] et Surakhamhaeng et al, 2020 [53] ne précisent pas le nombre de perdus de vue au sein de leur étude respective. Cependant, l'étude de Radenne et al, 2017 [52], indique le nombre de perdus de vue pour chaque groupe de son étude, cependant il n'est pas indiqué le processus d'analyse des résultats de ces sujets, ou bien si les analyses statistiques de ces sujets ont été prises en compte ou non dans l'analyse des résultats. L'item 9 n'est donc pas rempli pour ces études sauf pour l'étude de Huang et al, 2021 [55]. Cela constitue un biais d'attrition puisque les données seront incomplètes à l'égard des critères de jugement.

❖ Quantité de données statistiques acceptables pour interpréter les résultats.

Le tableau 6 met bien en évidence que l'ensemble des études incluses au sein de cette revue de littérature fournissent des informations suffisantes à l'interprétation des résultats. En effet, ceux-ci valident les items 10 et 11 de l'échelle PEDro. Ces informations peuvent être communiquées sous forme d'intervalle inter-quartile entre les groupes, de moyenne avec écart-type ainsi qu'intervalle de confiance entre les groupes ou encore d'analyses statistiques ce qui devrait permettre de mettre en évidence une différence significative entre les groupes.

❖ Biais de suivi

Un biais de suivi peut survenir au cours d'un essai lorsque les groupes ne sont pas suivis de la même façon. La comparabilité originelle est alors détruite et une différence peut apparaître en dehors de tout effet du traitement. Le double aveugle est un élément essentiel afin d'éviter l'apparition de ce biais²³. En effet, comme nous avons pu le voir précédemment aucune des études étudiées dans notre revue n'est réalisée en double aveugle. En dehors de l'évaluation de la qualité du double aveugle, d'autres notions caractéristiques sont à prendre en compte. En effet, dans les études de Huang et al, 2021 [55] et de Radenne et al, 2017 [52], le nombre de perdus de vue ainsi que les raisons de leur arrêt de participation au sein de l'étude sont bien documentées. Le nombre de personnes ayant arrêté l'étude au sein de l'étude de Huang et al, 2021 [55] est identique dans les groupes, contrairement à l'étude de Radenne et al, 2017 [52] où le nombre de sujets ayant arrêté l'étude diffère. L'étude de Radenne et al, 2017 [52] rapporte un nombre important de perdus de vue dans chaque groupe (3 au sein du groupe contrôle, 7 dans le groupe pliométrique et 4 dans le groupe proprioception) dans la période de suivi, ce qui constitue une source de biais non négligeable. Pour les études de Huang et al, 2014 [51], Lee et al, 2020 [54] et Surakhamhaeng et al, 2020 [53] le nombre de perdus de vue n'est pas documenté au sein de l'étude. Ainsi, cela peut constituer une source de biais non négligeable dans notre revue.

3.3. Effets de l'intervention sur les critères de jugement

Grâce aux éléments que nous avons pu rassembler dans cette étude et grâce aux outils de calculs mis à notre disposition par la Faculté des sciences médicales et paramédicales, les différences intra-groupes ainsi que leur écart-types, les intervalles de confiance à 95% des valeurs données, la taille d'effet du traitement pliométrique ainsi que son intervalle de confiance à 95% seront calculés autant que faire se peut. Pour une meilleure lisibilité, l'ensemble des tableaux est situé en Annexe 8 et les résultats significatifs seront mis en évidence **en gras**.

3.3.1 Le critère de jugement principal : effet sur le contrôle postural dynamique

Comme énoncé précédemment, toutes les études sélectionnées dans cette revue évaluent le contrôle postural dynamique comme critère de jugement. Ce paramètre est évalué de différentes manières selon les articles.

➤ **Lee et al, 2020** [54]

D'après le tableau 7, après 8 semaines de traitement la différence entre les deux groupes est de 0,88 % au SC obtenus grâce à l'YBT en faveur du groupe réalisant des exercices de stabilité de cheville (ASE). L'échantillon de patients étant limité il est intéressant de voir l'estimation de cet effet ramené à une population plus proche de la réalité. Cette notion est mise en évidence grâce à l'intervalle de confiance à 95% de la taille de l'effet. Lorsqu'on observe l'intervalle de confiance à 95% , celui-ci s'étend de -6,85% à 5,09% d'amélioration du score composite obtenu lors de l'Y-Balance Test par l'intervention pliométrique comparée du groupe ASE. Autrement dit, cette valeur pourrait augmenter jusqu'à de 5,09% et diminuer jusqu'à 6,85%. Cet intervalle comprenant la valeur 0 , on ne peut prétendre une augmentation ou une diminution de cette valeur à toute population transposable. Cependant en observant le tableau en Annexe 8, nous pouvons constater une augmentation de la valeur SC pour les deux groupes : 8,94% pour le groupe pliométrique et de 15,23% pour le groupe ASE ; avec une augmentation plus importante du score SC pour le groupe ASE.

Concernant la valeur COP X, la différence entre les deux groupes est de 0,3 mm lors de la mesure après 8 semaines de traitement en faveur du groupe pliométrique. L'intervalle de confiance à 95% de cette taille d'effet s'étend de -1,23mm à 0,63mm. Ainsi, la diminution de la valeur COP X par le traitement pliométrique n'est pas statistiquement significative. Malgré cela, en observant les différences intra-groupes, une diminution plus importante de la valeur COP X pour le groupe pliométrique est remarquable.

Concernant la valeur COP Y, la différence entre les groupes est de 0,4mm en faveur du traitement pliométrique. L'intervalle de confiance à 95% quant à lui s'étend de -2,77mm à 1,97mm. Cet intervalle de confiance comprend la valeur 0, il n'est donc pas possible de conclure que la diminution de la valeur COP Y soit statistiquement significative sur une population à plus grande échelle. Les différences intra-groupes montrent une diminution plus importante de la valeur COP Y après le traitement pliométrique soit de -2,39mm contre une diminution de -0,32mm pour le groupe d'exercice de stabilité de cheville.

➤ **Radenne et al, 2017** [52]

D'après le tableau 8, après 4 semaines d'entraînement, la différence de score SEBT pour la direction antérieure entre les deux groupes est de 0,2% en faveur du groupe pliométrique. L'intervalle de confiance à 95% de cette taille d'effet s'étend de -4,14 à 3,74. Ce résultat n'est donc pas statistiquement significatif. Malgré cela nous pouvons constater une augmentation du score SEBT de près de 3,6% pour le groupe pliométrique au bout de 4 semaine d'entraînement, alors que pour le groupe contrôle comme le souligne l'auteur dans la partie résultat de son étude le score SEBT du groupe contrôle est resté stable²⁵.

Concernant la direction postéro-médiale, après 4 semaines la différence de score entre les deux groupes est de 4,2% en faveur du groupe pliométrique. L'intervalle de confiance à 95% de cette taille d'effet s'étend de -2,75 à 11,15. Ce résultat n'est donc pas statistiquement significatif. Cependant,

²⁵ « le score SEBT du groupe CTRL est resté stable du PRE- au POST- entraînement pour un appui du côté avec IFC ou du côté sain dans chacune des directions avec une évolution du score inférieure à 1 % ».

nous pouvons voir une augmentation du score SEBT pour le groupe pliométrique de près de 7,3% après 4 semaines ; alors que comme dit précédemment, le score pour le groupe contrôle est resté stable²⁴. Pour la direction postéro-latérale, la différence du score entre les deux groupes est de 2,6% en faveur du groupe du groupe pliométrique. L'intervalle de confiance à 95% de cette taille d'effet s'étend de - 6,26 à 11,46 ; ceci ayant pour signification que le score SEBT peut diminuer jusqu'à 6,26% et augmenter jusqu'à 11,46% . Ce résultat n'est donc pas statistiquement significatif. Cependant, on peut noter que cette étude nous montre une augmentation de près de 9,2% du score SEBT du groupe pliométrique à 4 semaines , tandis que ce pourcentage pour le groupe contrôle est resté stable²⁴.

➤ **Huang et al, 2014** [51]

Cet article ne nous communiquant pas les résultats détaillés pour ce critère de jugement , notamment pour les valeurs pré et post traitement du groupe contrôle; une interprétation sur une population plus proche de la réalité en analysant l'intervalle de confiance à 95% de la taille de l'effet intergroupe ne sera pas possible.

D'après le tableau 9, concernant le TTS, aucun changement n'a été trouvé par les cliniciens pour les angles de la hanche, du genou ou de la cheville lors du test d'atterrissage en chute latérale après 6 semaines de pratique d'exercices pliométriques. Par contre, lors de du test d'atterrissage en chute médiale, le TTS pour l'angle de flexion du genou a été réduit de près de 1,45 secondes pour les sujets du groupe pliométrique. Concernant le déplacement relatif entre le COP et le COM présenté dans le tableau 10, celui-ci a diminué dans la direction médiale-latérale dans le groupe pliométrique lors du test d'atterrissage en chute latérale . En effet, nous pouvons constater une diminution de près de 49,29 mm de ce déplacement relatif après l'entraînement pliométrique.

➤ **Huang et al, 2021** [55]

Nous constatons pour cette étude que les résultats ne sont pas détaillés pour chacun des groupes (contrôle et pliométrique) et ne sont pas décrit pour chacun des groupes musculaires. D'après les résultats du tableau 11, aucune différence significative n'a été trouvée pour l'un des groupes (pliométrique et contrôle) et pour l'un des groupe musculaire , mis à part pour le groupe fléchisseurs plantaire de cheville pour laquelle on peut constater une diminution de près de 1,02 secondes du temps d'ajustement après 6 semaines d'entraînement pliométrique. A la suite de cela, une analyse plus approfondie concernant les muscles fléchisseurs plantaires a été réalisé et a mis en évidence que seul le muscle soléaire diminuait le temps d'ajustement de 0,98 secondes.

➤ **Surakhamhaeng et al, 2020** [53]

Le tableau 12, présente les résultats de cette étude sous forme de médianes et leur intervalle interquartile (*interquartile range* en anglais (IQR)) à 4 semaines (T4) et 6 semaines (T6). Il s'agit d'élément descriptif permettant d'apprécier la mesure de la dispersion statistique²⁶. Pour cette raison, aucune interprétation des résultats est significativement réalisable. Cependant, le tableau 12 nous permet tout de même d'observer une diminution du temps total de stabilisation à 4 et 6 semaines après la tache de saut dans la direction ML et AP pour les deux groupes d'interventions. La diminution est tout de même plus importante pour le groupe pliométrique. Concernant les distances de portées normalisées on observe cette fois ci , une évolution de celles-ci pour chaque groupe. Cependant une amélioration plus importante est notable pour le groupe réalisant des exercices d'équilibre. En découle

²⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Interquartile_range (accessed January 27, 2022).

alors le fait que les distances de portées composites ont augmenté pour chaque groupe, mais à nouveau de façon plus importante pour le groupe réalisant des exercices d'équilibres. En effet, à 6 semaines une différence de près de 10% est notable entre les deux groupes, en faveur du groupe réalisant des exercices d'équilibre.

3.3.2 Critères de jugement secondaires

- Amplitude du mouvement maximale
- **Lee et al, 2020** [54]

D'après le tableau 13, après 6 semaines de traitement nous pouvons constater une différence de 11,87 ° concernant l'amplitude de mouvement maximale (ROM) de flexion plantaire en faveur du groupe ASE. En observant cet intervalle de confiance à 95%, on constate que celui-ci s'étend de 4,56° à 19,18°. Cet intervalle de confiance ne comprenant pas la valeur 0, nous pouvons dire que l'augmentation de la ROM de flexion plantaire de cheville par la pratique d'exercice de stabilité de cheville est statistiquement significative. Il est également intéressant de souligner que la différence intra-groupe du groupe pliométrique, permet de mettre en évidence une diminution de près de 2,12° de la ROM de flexion plantaire après 6 semaines alors que le groupe ASE a permis d'augmenter la valeur de la ROM de flexion plantaire de 6,54°.

Concernant la ROM de flexion dorsale de cheville, nous pouvons constater une différence de 2,41° en faveur de l'ASE. En observant l'intervalle de confiance, on constate que celui-ci s'étend de -4,20° à 9,02°. Cet intervalle de confiance comprenant la valeur 0, ce résultat n'est pas statistiquement significatif. Il est intéressant de noter que la taille de l'effet intragroupe du groupe pliométrique, permet de mettre en évidence une diminution de près de 2,04° de la ROM de flexion dorsale après 6 semaines, alors que le groupe ASE a augmenté la valeur de la ROM de flexion dorsale de 5,09°.

- **Huang et al, 2014** [51]

D'après le tableau 14 lors du test d'atterrissage latéral, concernant la ROM de flexion dorsale de cheville nous pouvons observer une différence de 1,09° en faveur du groupe pliométrique. En observant l'intervalle de confiance à 95%, on constate que celui-ci s'étend de -3,87° à 1,69°. Cet intervalle de confiance comprenant la valeur 0, ce résultat n'est donc pas statistiquement significatif. Il est intéressant de noter une évolution de la ROM de flexion dorsale après 6 semaines de pliométrie de 3,05°, alors que pour le groupe contrôle elle n'a augmenté que de 0,26°.

Concernant la ROM de la flexion plantaire de cheville, une différence de 0,13° en faveur du groupe contrôle est notable. L'intervalle de confiance à 95% de cette taille d'effet, s'étend de -4,76° à 4,50°. Ce résultat n'est donc pas statistiquement significatif. Nous pouvons tout de même constater une augmentation de 0,89° de la ROM de flexion plantaire, alors que pour le groupe contrôle la taille d'effet intra-groupe met en évidence une diminution de 0,32°.

A propos de la ROM d'éversion de cheville, nous pouvons constater une différence de 0,17° en faveur du groupe contrôle. L'intervalle de confiance à 95% de cette taille d'effet s'étend de -1,04 à 1,38. Ce résultat n'est donc pas statistiquement significatif. Nous pouvons aussi voir une évolution de 0,11° de la valeur de la ROM et de 0,16° pour le groupe contrôle.

Au sujet de la ROM d'inversion de cheville, une différence de 0,5° en faveur du groupe pliométrique est notable. L'intervalle de confiance à 95% de cette taille d'effet, s'étend de -2,07 à 3,07. Ce résultat n'est donc pas statistiquement significatif. Concernant l'évolution le groupe pliométrique montre une diminution de 1,43° ; et une augmentation de 0,47° pour le groupe contrôle.

D'après le tableau 15 lors du test d'atterrissage médian, pour la ROM de flexion dorsale de cheville à 6 semaines, nous pouvons observer une différence de $0,53^\circ$ entre les groupes, en faveur du groupe pliométrique. L'intervalle de confiance à 95% de cette taille d'effet s'étendant de $-2,39$ à $3,45$. Ce résultat n'est donc pas statistiquement significatif. On peut voir une augmentation pour le groupe pliométrique de $1,41^\circ$, alors que pour le groupe contrôle cette augmentation est de $1,13^\circ$.

Pour la ROM de la flexion plantaire de cheville à 6 semaines, on observe une différence de $0,63^\circ$ en faveur du groupe contrôle. L'intervalle de confiance à 95% de cette taille d'effet s'étend de $-4,99$ à $3,73$. Ce résultat n'est donc pas statistiquement significatif. D'ailleurs pour le groupe pliométrique on voit une amélioration de $0,23^\circ$ de la ROM de cheville après l'atterrissage à 6 semaines ; alors que pour le groupe contrôle la valeur de la ROM n'a augmenté que de $0,02^\circ$.

Concernant la ROM de l'éversion de cheville, à 6 semaines nous pouvons observer une différence de $1,12^\circ$ en faveur du groupe pliométrique. L'intervalle de confiance à 95% de cette taille d'effet s'étend de $-2,91$ à $0,67$. Ce résultat n'est donc pas statistiquement significatif. Nous pouvons aussi voir une évolution de $2,39^\circ$ du groupe pliométrique à 6 semaines ; alors que celle-ci n'est que de $0,34^\circ$ pour le groupe contrôle.

A 6 semaines, pour la ROM d'inversion de cheville, nous observons une différence de $1,78^\circ$ en faveur du groupe pliométrique. L'intervalle de confiance à 95% de cette taille d'effet s'étend de $-2,48$ à $5,42$. Ce résultat n'est donc pas statistiquement significatif. En observant l'évolution des groupes, pour le groupe pliométrique nous pouvons constater une diminution de la ROM d'inversion de cheville à l'atterrissage de $3,51^\circ$; alors que pour le groupe contrôle on constate une diminution de seulement $1,04^\circ$.

- Activité neuromusculaire des muscles stabilisateurs de cheville
 - **Huang et al, 2021** [55]

D'après le tableau 16 lors de la phase de pré-atterrissage du test d'atterrissage médian, à 6 semaines nous pouvons observer à 6 semaines une différence de la valeur EMG pour le muscle tibial antérieur de $8,43\%.ms$ en faveur du groupe pliométrique. L'intervalle de confiance à 95% de cette taille d'effet s'étend de $-4,01$ à $20,87$. Ce résultat n'est alors pas statistiquement significatif. En revanche, ce tableau montre une évolution de $7,4\%.ms$ pour le groupe pliométrique après 6 semaines, alors qu'elle n'est que de $3,42\%.ms$ pour le groupe contrôle.

Pour le muscle long fibulaire, à 6 semaines nous observons une différence de $6,51\%.ms$ en faveur du groupe pliométrique. L'intervalle de confiance de cette taille d'effet s'étend de $-13,34\%.ms$ à $26,36\%.ms$. Ce résultat n'est donc pas statistiquement significatif. On peut tout de même constater une évolution à 6 semaines de la valeur EMG de $4,13\%.ms$ pour le groupe pliométrique, tandis qu'elle n'a augmenté que de $2,24\%.ms$ pour le groupe contrôle.

Pour le muscle gastrocnémien latéral, à 6 semaines on voit une différence de $26,87\%.ms$ en faveur du groupe pliométrique. L'intervalle de confiance à 95% de cette taille d'effet s'étend de $9,06\%.ms$ à $44,68\%.ms$. Cet intervalle de confiance ne comprend pas la valeur 0, ce résultat est alors statistiquement significatif. A 6 semaines ce tableau montre aussi une évolution de $32,1\%.ms$ pour le groupe pliométrique, alors qu'une diminution de $1,83\%.ms$ est notable pour le groupe contrôle.

Pour le muscle gastrocnémien médial à 6 semaines, on voit une différence de $12,94\%.ms$ concernant la valeur EMG en faveur du groupe pliométrique. L'intervalle de confiance à 95% de cette taille d'effet, s'étend de $0,25\%.ms$ à $25,63\%.ms$. Ainsi, cet intervalle de confiance ne comprend pas la valeur 0, nous pouvons alors dire que ce résultat est statistiquement significatif. On constate aussi une évolution de

16,69%.ms à 6 semaines pour le groupe pliométrique alors que le groupe contrôle elle n'est que de 0,73%.ms.

Pour le muscle soléaire à 6 semaines, une différence de 26,63%.ms est notable en faveur du groupe pliométrique. L'intervalle de confiance à 95% de cette taille d'effet s'étend de 12,04%.ms à 41,22%.ms ; ce résultat est statistiquement significatif et qu'une augmentation est transposable à toute population.

D'après le tableau 17, lors de la phase de post-atterrissage lors du test d'atterrissage médian, on observe à 6 semaines une différence de 20,16%.ms concernant la valeur EMG du muscle tibial antérieur en faveur du groupe pliométrique. Cet intervalle de confiance à 95% à pour borne inférieure -9,62%.ms et comme borne supérieure 50,14%.ms. Ceci signifie que cette valeur peut diminuer jusqu'à 9,62%.ms et augmenter jusqu'à 50,14%.ms. Cet intervalle de confiance contient la valeur nulle, de ce fait ni une augmentation ni une diminution sera attribuable à toute population ; ce résultat n'est donc pas statistiquement significatif. On peut constater une évolution de près de 16,41%.ms de cette valeur pour le groupe pliométrique, alors que pour le groupe contrôle celle-ci est seulement de 1,81%.ms.

Pour le muscle long fibulaire, à 6 semaines nous pouvons voir une différence 19,71% en faveur du groupe pliométrique. L'intervalle de confiance de cette taille d'effet s'étend de -3,47 à 42,89. De ce fait ce résultat n'est donc pas statistiquement significatif. On peut aussi voir une évolution de 11,94%.ms pour le groupe pliométrique au bout de 6 semaines, alors que pour le groupe contrôle on voit une diminution de 3,45%.ms de la valeur EMG.

Au sujet de la valeur EMG du muscle gastrocnémien latéral, à 6 semaines on voit une différence de 4,31%.ms en faveur du groupe contrôle. L'intervalle de confiance de cette taille d'effet s'étend de -22,73 à 14,11 ; ainsi ce résultat n'est donc pas statistiquement significatif. En observant l'évolution des groupes à 6 semaines, nous pouvons constater une diminution de cette valeur de près de 1,83%.ms pour le groupe pliométrique ; pour le groupe contrôle cette diminution est de 2,89%.ms.

Pour la valeur EMG du muscle gastrocnémien médial nous observons une différence de 6,22%.ms à 6 semaines en faveur du groupe pliométrique. L'intervalle de confiance à 95% de cette taille d'effet s'étend de -11,46 à 23,89 ; ce résultat n'est donc pas statistiquement significatif. L'évolution des groupes à 6 semaines met en évidence une augmentation de 3,17%.ms pour la valeur EMG du groupe pliométrique, tandis que nous pouvons constater une diminution de 5,17% concernant le groupe contrôle.

Pour le muscle soléaire nous pouvons constater à 6 semaines une différence de 1,21%.ms concernant sa valeur EMG en faveur du groupe pliométrique. En observant l'intervalle de confiance à 95% de cette taille d'effet, nous pouvons voir que les bornes de celui-ci sont de -17,58 à 15,16 ; ce résultat n'est alors pas statistiquement significatif. De plus, en observant l'évolution après 6 semaines, nous pouvons observer une augmentation de près de 4,05%.ms pour le groupe pliométrique, alors que celle-ci n'est que de 0,94%.ms pour le groupe contrôle.

Le tableau 18 (cf : Annexe 9), synthétise l'ensemble des résultats présenté précédemment en fonction des interventions pour l'ensemble des critères de jugements. En **gras** seront mis en évidence les résultats statistiquement significatifs.

4. DISCUSSION

4.1. Analyse des résultats

4.1.1 Analyse de la population

Dans un premier temps, la limite principale commune à chacune de ces études concerne le nombre de participants inclus au sein de l'échantillon. Les échantillons de chaque étude sont de faible taille, allant de 14 à 30 participants. Le plus petit échantillon est retrouvé dans l'étude de *Lee et al, 2020* [54]. Dans cette étude chaque groupe est composé de 7 participants. Avec un nombre de participant si faible, qu'il y a très peu de chance d'obtenir avec précision des valeurs significatives concernant un critère de jugement.

Le nombre de perdus de vue de chaque étude, n'est pas forcément communiqué notamment pour les études de *Huang et al, 2014* [51], *Lee et al, 2020* [54] et *Surakhamhaeng et al, 2020* [53]. Ceci laisse supposer qu'il n'y en a pas eu, mais sans aucune certitude étant donné le manque d'information. Il faut aussi souligner l'importance du nombre de perdus de vue dans l'étude de *Radenne et al, 2017* [52]. Dans cette étude près de 32%²⁷ de la population initiale est perdue de vue, ce qui est problématique au sujet de la fiabilité des résultats obtenus. Ces informations sont révélatrices d'un fort biais d'attrition comme décrit précédemment, compte tenu du nombre important d'individus sortis d'étude. Les auteurs auraient pu remédier à ce biais en réalisant des études en intention de traiter et en procédant à un remplacement des données manquantes comme l'étude de *Huang et al, 2021* [55]. Celle-ci est la seule étude incluse de cette revue réalisée en intention de traiter comme vu précédemment. D'ailleurs nous pouvons faire remarquer qu'entre 2014 et 2021 l'auteur *Huang* s'est amélioré sur ce point.

Parmi ces études, aucun auteur n'a cherché à obtenir par le biais de calcul ou de logiciel le nombre de participants nécessaire à l'échantillon pour que les résultats soient statistiquement significatifs mis à part l'étude de *Surakhamhaeng et al, 2020* [53] et celle de *Huang et al, 2021* [55] en utilisant le logiciel G*Power. Ceci aurait pu alors nous permettre d'obtenir la taille d'échantillon requise pour la réalisation de ces études.

Concernant l'âge moyen des participants, celui-ci ne varie que très peu allant de sujets âgés de 18 à 30 ans environ pour l'ensemble des études. On peut tout de même constater qu'il s'agit d'une population jeune. Rappelons que l'utilisation d'exercices pliométrique pourrait constituer un risque pour les jeunes en pleine croissance c'est donc certainement pour cette raison que seulement des personnes majeures ont été inclus au sein de ces études même si l'âge de fin de la croissance est discutable et peut prendre fin à 21 ans pour certains. Rappelons que le taux d'incidence global pour l'entorse de la cheville ne différait pas entre les hommes et les femmes. Mais les hommes de 14 à 24 ans et les femmes de plus de 30 ans avaient un taux d'incidence plus élevé que leurs homologues respectifs [60]. Comme nous pouvons le voir dans cette revue, aucun auteur ne réalise son étude sur une population un peu plus âgée, entre 30 et 50 ans par exemple, ce qui aurait pu être intéressant. A noter, que l'âge reste un paramètre prédictif important concernant la récupération des patients.

Les informations concernant les indices de masse corporelles (IMC) sont disponibles pour les études de *Huang et al, 2014* [51] et *Surakhamhaeng et al, 2020* [53]. Mais pour les trois autres études, les informations concernant les IMC ne sont pas communiquées. Le calcul de l'IMC moyen à partir des

²⁷ Calcul : $\frac{14 \times 100}{44} \approx 32\%$.

caractères spécifiques de la population disponible dans les études de *Huang et al, 2021*[55], *Lee et al, 2020* [54] et *Radenne et al, 2017*[52] ont été calculé à l'aide de la formule suivante $\frac{\text{poids}}{(\text{taille})^2}$. Les résultats obtenus nous donnant des valeurs entre 24 et 24,54 laissent alors supposer que les IMC des groupes de participants de ces études semblent comparables et de manière générale présenteraient un IMC dit normal. Rappelons qu'un IMC trop élevé est un facteur de risque d'entorse de cheville et/ou d'une récurrence.

Au sein des études observées dans cette revue, nous constatons que celles-ci ont inclus plus d'hommes que de femmes. Les hommes représentent près de 60% alors que les femmes représentent près de 40% des participants des études. A noter le fait que ces pourcentages n'incluent pas le sexe des participants de l'étude de *Lee et al, 2020*[54] au vu de la non communication de ces données de la part de l'auteur.

Le nombre d'entorses de cheville est un paramètre important à communiquer aux lecteurs. Le nombre d'entorses de cheville est en moyenne de 1,65 pour les deux études de *Huang et al* au cours des 6 derniers mois, et de 4,25 entorses en moyenne au cours des deux dernières années. Pour l'étude de *Surakhamhaeng et al, 2020* le nombre d'entorses est en moyenne de 1,9. Pour les études de *Lee et al, 2020* et *Radenne et al, 2017* ces données ne sont pas communiquées. Mais, ce qui nous assure que les patients inclus présentent bien une instabilité chronique est confirmé par le fait que les auteurs ont utilisés le *Cumberland ankle instability Tool* pour sélectionner les patients. Il faut souligner qu'avec un score inférieur à 24/30 à cette échelle, le patient présente une instabilité. Ces études présentent un score moyen d'environ 18,9, en ne tenant pas compte des résultats de l'étude de *Radenne et al, 2017* vu que les résultats concernant le score n'y sont pas communiqués. Mais l'étude de *Lee et al, 2020* a utilisé l'*Ankle Instability Instrument Score* pour laquelle les patients devaient présenter un score strictement supérieur à 5. Ils présentaient en moyenne un score de 7,6 à cette échelle.

Il est important de rappeler qu'aucune population spécifique n'avait été choisie initialement afin de pouvoir généraliser les résultats obtenus à toute population présentant une CAI. Mais les individus étudiés au sein des études incluses dans cette revue, sont des sportifs; mais le type de pratique sportive diffère d'une étude à l'autre :

- L'étude de *Lee et al, 2020* inclue des sujets pratiquants du Taekwondo [54] ;
- *Huang et al, 2014* inclue des athlètes universitaires pratiquant par exemple du rugby, soccer, basketball ou volleyball [51] ;
- *Huang et al, 2021* inclue des athlètes amateurs universitaires pratiquant par exemple du rugby, soccer, basketball ou volleyball [55] ;
- *Radenne et al, 2017* des basketteurs amateurs [52]
- *Surakhamhaeng et al, 2020* ne spécifie pas de sport, ni même une pratique sportive. Cependant étant donnée l'âge moyen des participants, nous pouvons poser l'hypothèse que ceux-ci pratiqueraient potentiellement une activité physique [53].

Nous pouvons dire que la pratique sportive diffère d'une étude à l'autre. Il s'agit dans l'ensemble de sport de pivot et de réception.

4.1.2 Analyse de l'intervention

Dans cette revue de littérature, l'intervention étudiée est la pliométrie. Ce type de renforcement rassemble une grande diversité d'exercice.

Dans un premier temps, les cinq études effectuent chacune un programme consistant en une succession d'exercices pliométriques. Les tableaux détaillés présentant les différents programmes utilisés dans ces études se situent dans la partie Annexes.

Les programmes d'intervention ont une durée qui s'étend de 4 à 8 semaines. Les deux études de *Huang* et celle de *Surakhamhaeng* réalisent le protocole durant 6 semaines à raison de trois fois par semaine. Celle de *Radenne* pendant 4 semaines et celle de *Lee* pendant une durée de 8 semaines à raison de deux fois par semaine. Les auteurs de *High-powered Plyometric* ne préconisent pas un nombre de semaine précis pour la réalisation d'exercice pliométrique, et laisse sous-entendre que la pratique de ces exercices doit être réalisée à une fréquence de 3 fois par semaine (+/-) en concordance, avec l'entraînement sportif de l'individu, ou encore combinée avec celui-ci [11] comme dans l'étude de *Radenne*. Il faut ajouter que le manque de suivi au long court dans toutes les études constitue aussi une limite. Rappelons que l'instabilité chronique de cheville résulte d'entorse à répétitions, et est donc une pathologie chronique, durable dans le temps. Comme dit, l'ensemble de ces études établissent un suivi entre 4 et 8 semaines. C'est intéressant car cela nous montre un effet bénéfique ou non de la pliométrie à un instant précis, mais cela a moins d'intérêt clinique pour les patients car nous n'avons aucune idée du maintien sur le moyen et long terme de cet effet. Pourtant, il serait plus pertinent cliniquement pour les patients de connaître les effets de cette méthode de rééducation sur une plus longue période, qu'à court terme. Mais une période de suivi plus longue, peut entraîner un risque d'obtenir d'avantage de perdus de vue que sur une période plus courte au sein de l'étude.

Les études de *Lee et al, 2020*, *Huang et al, 2014 et 2021* nous montrent un programme de sept exercices. Alors que l'étude de *Surakhamhaeng et al, 2020* ne présente que quatre exercices et celle de *Radenne et al, 2017* ne présente pas le nombre d'exercice pratiqué au cours de la séance mais précise que les exercices pliométriques seront réalisés au cours de l'entraînement de basketball pendant une durée de quinze minutes. Il faut préciser que la difficulté des différents exercices pliométriques des études a augmenté progressivement. Pour les études de *Huang et al, 2014 et 2021*, la difficulté des exercices augmentait toutes les deux semaines alors que pour les études de *Surakhamhaeng et al, 2020* et *Radenne et al, 2017*, celle-ci augmentait toutes les semaines. Pour l'étude de *Lee et al, 2020* elle a augmenté qu'au bout de la quatrième semaine d'exercice. Pour rappel, l'ouvrage *High-Powered Plyometrics* [11] mentionne que la pratique d'exercice pliométrique doit se dérouler en suivant une progression, c'est-à-dire que « les séries d'entraînement commencent par des exercices fondamentaux, simples et progressent vers des tâches plus complexes et plus difficiles ». Ceci nous conduit à dire que l'étude de *Lee et al, 2020* aurait dû augmenter l'intensité des exercices de façon plus régulière au cours de son étude.

Il est intéressant de souligner que l'ensemble des programmes pliométriques ont accordé du temps à la période d'échauffement et la période de récupération après la pratique d'exercice pliométrique. L'étude de *Lee* ne détaille aucune de ces deux périodes; quant à l'étude de *Radenne* aucun échauffement ni période de récupération n'est mentionnée. Nous pouvons supposer que ces deux périodes sont présentes au sein de cette étude, étant donné que les exercices pliométriques de ce programmes sont directement intégrés à l'entraînement des basketteurs. Rappelons que les exercices d'échauffement sont essentiels afin de mobiliser et préparer le corps à des performances rapides et explosives. Il est important de noter que dans les études de *Surakhamhaeng* et de *Huang*, le footing est utilisé en échauffement. Cependant Radcliffe mentionne dans son livre que ce type d'exercice tout comme le vélo stationnaire ou encore les exercices de talons-fesses sont à éviter pour l'échauffement

du fait qu'ils favoriseraient une mauvaise posture de course et de saut [11]. Dans les études de Huang, les participants réaliseraient des étirements dans la période d'échauffement et dans la période de retour au calme, alors que dans l'étude *Surakhamhaeng*, les étirements ne sont réalisés que pendant la période de retour au calme. Il est dit que les étirements passifs sont toujours pratiqués pendant les périodes d'échauffement. Mais des recherches ont mis en évidence qu'il était beaucoup plus avantageux pour la performance générale et l'amélioration de les réaliser en fin de séance, durant la période de récupération[11].

4.1.3 Critères de jugement et outils de mesure

Au sujet des trois critères de jugement étudiés, les outils et test d'évaluations diffèrent selon les études comme nous pouvons le voir dans le tableau récapitulatif des études incluses (*cf* : RESULTATS).

Pour la mesure du contrôle postural dynamique, les études de *Radenne et al*, *Surakhamhaeng et al* ont utilisé le « SEBT modifié » en utilisant seulement les directions antérieures, postéro-médiale et postéro-latérale. Et l'YBT a été utilisé dans l'étude de *Huang et al, 2014*. Il est intéressant de rappeler que l'YBT est une version instrumentée des composants du SEBT (Antérieure, Postéro-médiale et Postéro-latérale). Il permet d'améliorer la validité inter-évaluateur avec un ICC variant de 0,99 à 1 alors que pour le SEBT celle-ci était mauvaise à bonne avec un ICC allant de 0,35 à 0,93. Il est intéressant de mettre en évidence que ce contrôle postural dynamique a également été mesuré grâce à l'utilisation de plateforme de forces lors de la réalisation du « single-leg drop landing test », appelé aussi test d'atterrissage sur une jambe. Les plaques de force nous donnent des informations sur l'oscillation du COP et du COM, temps de stabilisation (TTS) et le temps d'ajustement pour les deux études de *Huang* et celle de *Surakhamhaeng*. Il faut préciser qu'il n'existe pas de protocole uniformisé pour la réalisation de ce single leg drop landing. Comme nous pouvons le voir dans l'étude de *Huang et al, 2014* celui-ci a été réalisé en médial et latéral ; dans son étude de 2021, uniquement dans la direction médiale. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que le test d'atterrissage médian sur une jambe présente une excellente fiabilité et provoque les plus grands angles d'inversion et d'éversion de la cheville, ce qui complique la tâche des patients présentant une instabilité chronique de cheville [61]. Pour les études de *Surakhamhaeng et al, 2020* et *Lee et al, 2020* rien n'est précisé. On peut considérer que pour ces deux études ce test a été réalisé de face. Il faut ajouter que la hauteur de la boxe utilisée pour ce test n'est pas identique pour chaque étude allant de 16 à 45 cm. Nous pouvons supposer que le choix d'une faible hauteur de la boxe pour les études de Huang pourrait être dû au fait que les auteurs ont voulu éviter toute blessure de la cheville des participants ou encore pour éviter toute appréhension de leur part à l'idée d'atterrir sur une cheville instable. Cependant, la littérature ne dispose pas à ce jour de données concernant la hauteur de la boxe idéalement nécessaire pour la réalisation de ce test chez les patients CAI. Il serait donc intéressant que des études à ce sujet soient réalisées pour permettre de standardiser le protocole de ce test, et permettre aux cliniciens d'utiliser une hauteur « idéale » qui permettra d'obtenir des résultats fiables et révélateurs des déficiences étudiées. Il semble cohérent qu'un atterrissage d'une boxe plus haute entraînera plus de déstabilisation qu'un atterrissage d'une hauteur plus basse, de ce fait, il est possible dans ces études que nous n'obtiendrons peut être pas les résultats attendus.

Pour l'évaluation de l'amplitude de mouvement maximale (ROM) de la cheville, des systèmes d'analyses du mouvement composés de caméra ont été utilisés. Des marqueurs devaient être utilisés pour que les caméras puissent rassembler les données au moment de la réalisation du test d'atterrissage. Il est important de souligner que l'étude de *Huang et al, 2014* a utilisé un jeu modifié

de 23 marqueurs Helen Hayes et l'étude de *Lee et al, 2020* 28 marqueurs comme décrit par Helen Hayes. Le fait que l'étude Huang utilise 4 marqueurs de moins, laisse alors supposer que les résultats obtenus dans cette étude seront peut-être moins précis que pour l'étude de *Lee et al, 2020*.

Concernant l'évaluation de l'activité neuromusculaire des muscles stabilisateurs de cheville, l'EMG, pour rappel étant le gold standard pour l'évaluation de la fonction musculaire est utilisé dans l'étude de *Huang et al, 2021* lors de la réalisation du test d'atterrissage médian d'une hauteur de 16 cm. Comme précédemment dit, les données des résultats obtenus à ce test en partant d'une faible hauteur pourront peut-être ne pas donner des résultats attendus.

4.1.4 Analyse des résultats

L'objectif premier de cette revue de littérature est d'évaluer l'effet de la réalisation d'exercice pliométrique sur le contrôle postural dynamique des patients présentant une instabilité chronique de cheville ainsi que son impact sur l'amplitude de mouvement articulaire maximale de la cheville et sur l'activité neuromusculaire des muscles stabilisateurs de cheville. Avant d'évoquer toute influence de ce travail pliométrique, il convient de commencer par un bref rappel des biais précités de ces études car la présence de biais au sein de ces études peut mener à l'obtention de résultats peu précis et peu fiable.

- *Le biais de détection/performance* : Celui-ci est présent dans l'ensemble des études incluses dans cette revue. Aucun thérapeutes, participants, évaluateurs ne sont en aveugle comme dit précédemment, ce qui pourrait influencer les résultats obtenus dans les différents groupe de traitements, et également conduire à une surestimation des résultats obtenus. Il ne faut donc pas exclure l'hypothèse selon laquelle les résultats positifs obtenus dans ces études, peuvent être le résultat d'une volonté inconsciente des participants voir même des cliniciens impliqués. Pour remédier à ce biais de détection, on pourrait imaginer que dans des études futures l'examineur n'ait reçu aucune information sur la répartition des groupes. Quant au biais de performance, concernant l'aveuglement des sujets il serait intéressant dans de prochaines études d'essayer de dissimuler toute indice permettant aux individus inclus dans les groupes de deviner à quel groupe ils ont été attribués. Concernant l'aveuglement des thérapeutes, il pourrait être une solution partielle qu'un thérapeute s'occupe de chaque groupe d'intervention sans pour autant être informé du traitement dispensé aux autres groupes de l'étude.
- *Le biais de sélection* : Trois études ont réparti aléatoirement les participants dans les groupes mais pas de façon secrète. Comme dit précédemment cela pourrait entrainer des divergences entre les groupes.
- *Le biais d'attrition* : Il représente un des principaux biais de cette revue puisque seulement une seule étude est menée en intention de traiter (ITT). Ceci représente un biais très important au sein de ce travail puisque les résultats obtenus seront imprécis et incomplets.
- *Le biais de suivi* : Parmi ces études aucune ne mentionne le nombre de perdus de vue, mis à part les deux études de *Huang* et celle de *Radene*. L'étude de Radene rapporte un nombre important de perdus de vue (près de 32%). Cette quantité importante de perdus de vue est une source de biais non négligeable, notamment pour la fiabilité des résultats obtenus dans cette étude.
- *Quantité d'information pour interpréter les résultats* : L'ensemble des études nous fournit généralement des données suffisantes pour l'interprétation des résultats, sauf pour notre

critère de jugement principal dans les études de Huang où le manque de données concernant le groupe contrôle ne nous permet pas de réaliser les calculs nécessaires pour interpréter le degré de signification des résultats communiqués. Cela est aussi le cas pour l'étude de *Surakhamhaeng* car les résultats sont communiqués sous forme de médiane.

Il faut souligner que parmi l'ensemble de ces études, seule l'étude de *Lee et Al, 2020* nous communiquait les différences intra-groupes (DIG) accompagnées de leurs écart-types (SD); de ce fait les tailles d'effets et intervalles de confiances à 95% auraient pu être calculés en utilisant ces DIG afin d'éliminer les différences initiales entre les populations de chaque groupe et par conséquent obtenir des résultats plus précis. Mais au vu des données communiqués par les autres études il était impossible d'obtenir les DIG ainsi que les SD ; alors pour une question d'unité entre les résultats des différentes études, il était préférable d'utiliser les valeurs post-traitement afin de calculer les tailles d'effets et intervalles de confiances même si cela va constituer un biais supplémentaire dans l'interprétation de nos résultats. Malgré l'étude des intervalles de confiance et des tailles d'effets, ces faibles échantillons vont rendre la généralisation à la population cible très incertaine.

➤ **Analyse du critère de jugement principal : le contrôle postural dynamique.**

Le critère de jugement principal de cette revue est le contrôle postural dynamique. Rappelons que la diversité des outils utilisés, des tests, des différences de durée de ces études rend impossible la réalisation d'une méta-analyse.

L'étude de *Surakhamhaeng et al, 2020* présente ces résultats sous forme de médiane et non de moyenne. Aucune interprétation de la puissance de l'effet clinique ne sera réalisable sachant qu'en plus de cela, l'étude ne dispose pas de groupe contrôle. L'étude de *Lee et al, 2020* ne dispose pas aussi de groupe contrôle. Ainsi les résultats de ces deux études n'auront pas le même intérêt pour nous que les résultats issus d'études disposant d'un groupe contrôle.

Les résultats de l'étude de *Surakhamhaeng et al*, nous montre tout de même que la pliométrie diminue les résultats du TTS médial-latéral et antéro-postérieur et tend à augmenter les distances de portées dans la direction postéro-médiale, postéro -latérale et antérieure du SEBT modifié. Il est mis en évidence une évolution supérieure des résultats pour la direction postéro-médiale du SEBT modifié à 4 semaines d'entraînement pliométrique. De plus, dans l'étude de *Radenne et al, 2017* la direction postéro-médiane du SEBT montre une taille d'effet plus élevée que pour les autres directions de ce test malgré que celles-ci ont aussi montrés une amélioration. Cependant la largeur des intervalles de confiance des différentes tailles d'effets ne nous permet pas de conclure cliniquement et les résultats obtenus ne sont pas statistiquement significatifs. A noter que cette étude a aussi montré une amélioration des résultats au SEBT également dans toutes les directions pour le membre sain des participants du groupe pliométrique. Pour l'étude de *Lee et al, 2020* la différence intra-groupe du groupe pliométrique met en évidence une évolution de près de 8,94% du Score composite obtenu à l'YBT à 8 semaines. Il est d'ailleurs intéressant d'ajouter la différence intergroupe entre le groupe pliométrique et le groupe exercice de stabilité de cheville montre une taille d'effet inférieure à 1%. Ceci laisse alors supposer que la pliométrie serait aussi efficace que les exercices de stabilité de cheville pour permettre l'amélioration du contrôle postural dynamique, malgré le fait que ce résultat ne soit pas statistiquement significatif. Celui-ci est aussi étudié dans cette étude par la mesure du COP X et COP Y comme dit précédemment. Les tailles d'effets après 8 semaines sont respectivement pour COP X et COP Y de -0,3mm et -0,4mm en faveur du groupe pliométrique. Les intervalles de confiances étant

larges cela ne nous permet pas de conclure cliniquement. Par contre, en observant les différences intra-groupe du groupe pliométrique, notamment pour COP X nous pouvons observer une diminution de sa valeur de -1,34 mm et pour COP Y de -2,39 mm à 8 semaines.

Pour les deux études de *Huang*, rappelons que les résultats pour le groupe contrôle ne sont pas communiqués, ce qui ne nous permet pas d'apprécier la signification des résultats présentés par celles-ci. Ces résultats, pour ce critère de jugement équivalent alors à des résultats issus d'une série de cas du fait du biais de communication de résultat constatable concernant ce critère de jugement. Ainsi il n'est donc pas pertinents de comparer ces résultats concernant le contrôle postural dynamique à des résultats issus d'essai clinique randomisé nous présentant les résultats également pour les groupes contrôles.

Dans l'étude de 2021, d'après l'auteur seul les muscles fléchisseurs plantaires du groupe intervention pliométrique ont mis en évidence une diminution du temps d'ajustement (décrit précédemment) et une analyse approfondie a démontré que seul le muscle soléaire diminuait le temps d'ajustement de 0,98 secondes. Ces résultats laissent supposer que ceci est dû au fait que les muscles gastrocnémiens sont fortement associés aux mouvements articulaire du genou. Il serait intéressant qu'une étude future élargisse la taille de l'échantillon afin d'augmenter la puissance de l'étude et réévaluer la pertinence de ces mesures en communiquant cette fois ci les valeurs pré et post-entraînement également pour le groupe contrôle afin de pouvoir calculer une taille d'effet et un intervalle de confiance à 95%.

Dans l'étude de 2014, l'intervention pliométrique a permis d'observer une diminution de près de 1,45 secondes du temps total de stabilisation (TTS) pour l'angle de flexion du genou lors du test d'atterrissage en chute médiale mais pas lors du test d'atterrissage en chute latérale²⁸. Ce changement de TTS pour l'angle de flexion du genou mais l'absence de changement dans la cinématique de la cheville laisse penser que la pliométrie a amélioré la capacité des participants à retrouver sa stabilité posturale en modulant l'articulation du genou et non de la cheville. Cet article montre aussi une diminution de près de 49,29 mm du déplacement relatif entre le centre de masse et le centre de pression lors du test d'atterrissage en chute latérale. Ceci pourrait s'expliquer en discutant des résultats de notre critère de jugement secondaire : la ROM de la cheville.

Avant cela, il faut rappeler que les échantillons de ces études sont peu importants afin de juger de la puissance de l'effet clinique de ce programme d'entraînement pliométrique. Malgré le fait qu'aucun résultat significatif n'ait été obtenu pour ce critère de jugement, il est intéressant de voir que l'ensemble de ces résultats semble converger vers une amélioration du contrôle postural dynamique.

- **Analyse des critères de jugement secondaires**
 - L'amplitude de mouvement maximale de la cheville.

Rappelons que ce critère de jugement est étudié seulement dans l'étude de *Lee et al, 2020* et l'étude de *Huang et al, 2014*.

Dans l'étude de *Huang et al, 2014* la pliométrie semble montrer un effet en augmentant la flexion dorsale de cheville et en diminuant l'inversion lors du test d'atterrissage en chute latérale. Il montre aussi une augmentation de la ROM de flexion dorsale de cheville, et une diminution de la ROM

²⁸ On pourrait supposer que ce changement serait sûrement dû à la divergence des paramètres cinématiques requis pour ces deux types d'atterrissages.

d'éversion et d'inversion lors du test d'atterrissage médian. Ces résultats laissent alors supposer qu'une augmentation de la flexion dorsale maximale et une diminution de l'inversion et de l'éversion maximale pourrait permettre d'augmenter la stabilité et de ce fait réduire ce déplacement relatif entre le COM et le COP dans la direction médiale latérale. Cependant, en observant les valeurs on peut observer que ces augmentations/ diminutions oscillent entre 0 et 3° ce qui conduit à nous interroger sur la pertinence des résultats communiqués. De plus, les résultats issus de cette étude ne sont pas statistiquement significatifs.

Dans l'étude de *Lee et al, 2020* les résultats ne sont présentés que pour les ROM de flexion plantaire et flexion dorsale. A contrario, les résultats nous permettent de mettre en évidence une réduction de la ROM de flexion dorsale et flexion plantaire de cheville pour le groupe pliométrique de près de 2° , alors que pour le groupe ASE nous pouvons voir une augmentation de près de 6,5° flexion plantaire et de 5° pour la flexion dorsale pour le groupe ASE. Ces résultats pourraient expliquer qu'une diminution de la dorsiflexion pourrait être due à un déplacement antérieur du COP. Lorsque le COP est translaté vers l'avant, l'articulation talo-crurale est en flexion dorsale passive puis en flexion plantaire active afin de rétablir l'équilibre. La flexion plantaire active déplace le COP vers l'arrière de façon à ce que la ligne de gravité soit déplacée vers l'avant pour maintenir l'équilibre [62]. Cette étude nous informe aussi sur le fait que la ROM de flexion du genou et de hanche ont augmenté après la pratique d'exercice pliométrique alors que pour le groupe ASE, les valeurs sont restées stables. Ceci laisse alors supposer que l'exercice pliométrique entraînerait une activation optimale des ischios-jambiers entraînant alors une plus grande flexion de genou et de hanche. Ceci permettrait d'absorber les chocs à la réception permettant aux tissus mous de mieux agir grâce au gain de force musculaire que ce type d'exercice génère pour assurer la stabilité articulaire. Alors que les ASE semblent favoriser une stratégie de réception efficace en restaurant l'amplitude de mouvements de la cheville.

Il faut dire que même si les systèmes d'analyse du mouvement basés sur des marqueurs sont les plus précis et sont à ce jour la référence en matière d'analyse clinique et scientifique du mouvement, une étude met en évidence que dans le plan frontal de la cheville de grandes variabilités angulaires ont été notées en raison de la faible amplitude de mouvement de l'articulation dans ce plan. D'ailleurs les artéfacts des tissus mous et le placements des marqueurs sont les principales sources d'erreurs de ces systèmes[63] .

La différence inter-groupe pour la ROM de flexion plantaire de cheville lors du contact initial avec la plateforme de force pour l'étude de *Lee et al, 2020* demeure le seul résultat significatif. Mais celui-ci ne nous apporte guère d'informations hormis le fait que les exercices de stabilité de cheville permettraient de plus augmenter la flexion plantaire de cheville lors du test d'atterrissage que la pliométrie. Concernant l'ensemble des résultats obtenus pour ces deux études, la largeur des intervalles de confiance des différentes tailles d'effet ne nous permettent pas de conclure cliniquement. Les hypothèses précédemment évoquées laissent penser que des études supplémentaires sont nécessaires pour pouvoir juger dans le futur de la véritable puissance de l'effet clinique du traitement pliométrique sur ce critère de jugement. .

- *Activité neuromusculaire des muscles stabilisateurs de cheville*

L'étude de *Huang et al, 2021* est la seule étude de notre revue étudiant ce critère de jugement.

Dans cette étude, concernant l'activité musculaire des muscles stabilisateurs de cheville, ce programme d'intervention semble montrer une amélioration globale de l'activation des muscles

stabilisateurs de cheville lors de la phase de pré-atterrissage et post -atterrissage du test d'atterrissage médian ; hormis pour le muscle gastrocnémien latéral et le soléaire lors de la phase post-atterrissage. Cependant, l'étude nous présente des résultats statistiquement significatif en faveur du groupe pliométrique lors de la phase de pré-atterrissage du test uniquement pour les muscles gastrocnémien latéral²⁹, médial³⁰, et le muscle soléaire³¹. Ces résultats laissent penser que les exercices pliométriques permettent d'augmenter consciemment ou inconsciemment l'activité musculaire préprogrammée de la cheville afin de préparer la réception pour faire face aux déstabilisations et absorber les impacts. Il faut aussi dire qu'une étude de 2020 montre que la pré-activations des muscles bi-articulaires du genou et de la hanche contribuent à la stabilité des articulations lors de la réception[64]. Il faut souligner que l'activation musculaire avant l'atterrissage est pré-activée et basée sur l'expérience antérieure, soit l'anticipation. Alors que l'activité musculaire après l'atterrissage est basée sur la réactivité, soit la rétroaction [65]. Sachant que cette étude a aussi montré que la pratique d'exercice pliométrique permettait une amélioration de la proprioception des personnes présentant une instabilité de cheville, on pourrait supposer qu'une activité musculaire augmentée après la réception pourrait être due à amélioration de la sensibilité des capteurs neuromusculaire et que l'augmentation du niveau d'activation musculaire avant la réception pourrait venir de l'expérience acquise pendant la réalisation des exercices pliométriques.

De plus, la largeur importante des intervalles de confiance obtenus pour l'ensemble des muscles, et notamment pour les muscles précités nous conduit à nous interroger sur les résultats obtenus.

On pourrait supposer que cette largeur des intervalles de confiance pourrait être dû aux préférences motrices des patients inclus au sein de l'étude. En effet, Volodalen®, société spécialisée dans l'entraînement du coureur à pied, développe une approche depuis quelques années afin de mieux comprendre le fonctionnement du coureur. Celle-ci émet l'hypothèse d'une optimisation biomécanique propre à chaque personne. A la suite de cette hypothèse, l'approche Volodalen® propose deux modèles d'efficacité : pour les aériens un modèle vertical (dit masse-ressort) et un modèle horizontal pour les terriens ³² (cf: Annexe 10). Il est important de noter que les individus présentant un profil aérien ayant une frappe médio-pied auraient plus tendance à recruter les muscles extenseurs de cheville, alors que les individus au profil terrien auraient plus tendance à recruter les muscles fléchisseurs de chevilles [66]. Ceci pourrait alors donner une explication à nos résultats obtenus, et pourrait donner une nouvelle piste d'étude à de futurs chercheurs en incluant au sein d'une étude similaire des individus présentant un profil aérien et/ou terrien afin de peut-être observer des résultats plus fiables.

4.2. Applicabilité des résultats en pratique clinique.

Comme nous avons pu le voir précédemment, dans cette revue de littérature, la plupart des études ne présente pas de résultats significatifs en raison de la faible taille des échantillons qui ne sont pas représentatifs de la population ciblée. Malgré le fait que l'ensemble des résultats semblent converger dans le sens que la pliométrie permettrait d'améliorer le contrôle postural dynamique chez les patients présentant une instabilité chronique de cheville, le manque de preuve est présent. Comme montré précédemment, les altérations du contrôle neuromusculaire sont étroitement liées à des

²⁹ Taille d'effet (en %.ms) [IC95%] : 26,87 [9,06 ; 44,68]

³⁰ Taille d'effet (en %.ms) [IC95%] : 12,94 [0,25 ; 25,63]

³¹ Taille d'effet (en %.ms) [IC95%] : 26,63 [12,04 ; 41,22]

³² Thèse en science du sport – TERRIEN ET AERIEN : CONCEPT VALIDATION ET IMPLICATIONS – T.LUSSIANA – 2016 [these-main-2016.11 \(volodalen.com\)](https://theses-main-2016.11.volodalen.com) (accessed March 8, 2022).

anomalies de stabilité articulaire dynamique ainsi que du contrôle postural. Mais, seule l'étude de *Huang et al, 2021* [55] montre significativement une amélioration de l'activation musculaire, soit du contrôle neuromusculaire des muscles gastrocnémien latéral, médial et soléaire pendant la phase de pré-atterrissage des patients présentant une CAI. De ce fait, il pourrait alors être très intéressant de mettre en pratique la pliométrie afin de favoriser une préprogrammation de l'activation musculaire pour mieux faire face aux perturbations articulaires et mieux absorber les impacts.

Afin de la mettre en application, il s'avèrerait que la pratique d'exercice pliométrique pendant une durée minimum de six semaines trois fois par semaine soit indispensable afin d'obtenir des résultats significatifs sur le contrôle neuromusculaire, comme pour l'étude de *Huang et al, 2021* [55]. Mais les Recommandations des bonnes pratiques de la Haute autorité de santé nous présente la rééducation de l'entorse de cheville de J1 à J56. En tenant compte du traitement conservateur ainsi que la remise en charge progressive du patient, il ne restera que très peu de temps pour mener à exécution des exercices pliométriques similaires à ceux utilisés pour l'étude de *Huang*. Ceci pourrait concourir à l'acquisition d'une meilleure stabilité de la cheville, d'un meilleur contrôle neuromusculaire et par conséquent un meilleur contrôle postural permettant d'éviter une récurrence. De plus la Nomenclature Générale des Actes Professionnelles prévoit une à dix séances pour la rééducation d'une entorse de cheville ; au-delà une demande d'accord préalable doit être réalisée par le Masseur-kinésithérapeute (MK)⁵. Celle-ci peut ne pas être acceptée par la Caisse Primaire d'Assurance Maladie, ce qui pourrait constituer un obstacle pour la rééducation de nos patients présentant ce type de pathologie. Il ne semble alors pas possible de mettre en pratique ces exercices pliométriques, pour permettre aux sportifs de retourner pratiquer leur activité plus sereinement et en évitant le risque de rechute. Une solution serait de proposer à la Nomenclature Générale des Actes Professionnelles de reconsidérer leurs recommandations en s'appuyant sur des études futures qui révéleraient que bien plus de 10 séances de rééducations soient nécessaires afin d'éviter une rechute. Il est mis en évidence que le temps constitue un véritable obstacle pour l'application d'un protocole pliométrique. En plus de cela il faut rappeler que la pliométrie n'est pas sans risque en mettant en jeu des exercices à hautes intensités. Pendant la durée du protocole, il est essentiel de travailler en progression et de sans cesse s'adapter aux capacités des patients.

Il est totalement possible d'utiliser ce type de protocole en cabinet du fait qu'une séance d'exercices pliométriques n'aurait pas une durée supérieure à trente minutes (en ne tenant pas compte de la durée de l'échauffement et de la récupération). Cette durée de trente minutes est semblable à la durée que la plupart des MK accordent à leurs patients en cabinet. Il en va de soi que les MK soient formés pour utiliser cette technique de renforcement en s'informant dans la littérature, par la réalisation de formations complémentaires même si aucune formation spécifique n'est nécessaire pour pratiquer des exercices pliométriques.

Nous pouvons dire, qu'avec plus de preuves scientifiques, la pliométrie pourrait être une bonne alternative au cours du traitement de l'instabilité chronique de cheville, notamment dans la période de réathlétisation pour les patients actifs, afin de préparer le retour à l'activité sportive. Dans ces cas-là, il en découle inévitablement la remise en question du nombre de séance accordée par la Nomenclature Générale des Actes Professionnelles qui semble ne pas être suffisant compte tenu du nombre de récurrences, et du coût important pour l'assurance maladie que génère ce type de pathologie. Il semble compromis de rééduquer complètement un individu de son entorse de cheville en seulement dix séances en lui permettant de pratiquer quelque activité sans risque de récurrences.

4.3. Qualité des preuves

La discussion concernant cette qualité des preuves est déjà amorcée précédemment. La Haute autorité de santé a publié en 2013 une grille de grade des recommandations³³. Celle-ci se base sur le niveau de preuve scientifique pour répondre à une problématique, c'est-à-dire fournir un grade de recommandation.

Pour cela, il convient d'abord d'évaluer le niveau de preuve des études selon quatre points précis :

- Le niveau de puissance de l'étude
- Les biais éventuels de l'étude
- La pertinence du protocole d'étude pour répondre à la question posée
- La capacité de l'étude à s'adapter pour permettre l'analyse des critères de jugement en fonction de ses objectifs.

Si l'étude ne permet pas d'obtenir des résultats significatifs, même si nous pouvons observer des résultats en post-traitement différents entre le groupe intervention et le groupe contrôle ; la puissance de cette étude sera considérée comme insuffisante. Donc selon l'*Annexe 11*, la puissance des études de *Radenne et al, 2017* [52] ; *Huang et al, 2014* [51] ; *Lee et al, 2020* [54] et *Surakhamhaeng et al, 2020* [53] est considérée comme insuffisante. Ces études possèdent également un score PEDro avec une qualité méthodologique modérée. Une présence de biais non négligeable est alors mise en évidence pour ces études. En découle alors le fait que ces quatre études vont apporter un niveau de **preuve intermédiaire** à notre revue.

A contrario, l'étude de *Huang et al, 2021* [55] est considérée comme apportant un niveau de **preuve fort**, vu que celle-ci ne présente pas de biais majeur à l'échelle PEDro. De plus celle-ci présente une puissance suffisante afin d'apporter quelques résultats significatifs.

La Haute Autorité de Santé a mis en place une grille permettant d'apprécier le grade des recommandations des études (cf : *Annexe 12*). Celle-ci va permettre de déterminer le niveau de preuve scientifique des études tout en s'adressant aux professionnels de santé concernés. A partir des niveaux de preuve précédemment définis, nous pouvons dire que les études de *Lee et al, 2020* [54], *Huang et al, 2014*[51], *Radenne et al, 2017* [52], *Surakhamhaeng et al, 2020* [53] ont un grade de recommandation B (présomption scientifique). Quant à l'étude de *Huang et al, 2021* [55], elle a obtenu un grade de recommandation A (preuve scientifique établie).

4.4. Biais potentiels de la revue

Malgré la réalisation de façon la plus rigoureuse possible de ce travail, comme toute revue de littérature, celui-ci peut présenter des biais. Il est important de rappeler que ce travail a été mené à bien en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Masseur-Kinésithérapeute. Il s'agit cependant du premier travail de recherche autant complet et précis réalisé. De ce fait, il est évident que nous manquons d'expérience dans ce domaine, ce qui accentue la possibilité de biais au sein de cette revue ; néanmoins, il ne faut pas remettre en question la rigueur et l'implication accordée à la réalisation de celle-ci. De plus la maîtrise imparfaite de la langue anglaise et par conséquent la traduction imprécise de certains termes par les traducteurs en ligne ont pu représenter un biais lors de la sélection des articles en fonction de leur titre.

³³ [Etat des lieux Niveau Preuve Gradation \(has-sante.fr\)](#) (accessed March 15, 2022).

Dans un second temps, lors de la réalisation de recherches d'études au sein des différentes bases de données (PEDro, Pubmed, Cochrane Library, KineDoc et Google Scholar), certaines ont pu être involontairement écartées de cette revue et exclues. En effet, il est essentiel de mettre en évidence la complexité d'élaborer des équations de recherche ne générant ni trop de bruit, ni trop de silence. Ceci a pu rendre notre sélection d'article imparfaite.

Le faible nombre d'études incluses dans ce travail représente la principale limite de cette revue. En effet, avec cinq articles analysés, il est complexe de tirer une conclusion avec certitude. Ceci a eu des conséquences négatives sur ce mémoire, puisque les études sélectionnées laissaient paraître des hétérogénéités, notamment concernant les outils d'évaluation utilisés.

De plus, il faut souligner que cette revue présente un biais de performance et de détection du fait qu'elle n'inclue aucune étude respectant les critères d'aveuglement. Il s'agit de l'un des principaux biais de cette revue.

Cette revue pourrait potentiellement présenter un biais de sélection, vu que l'auteur de cette revue a réalisé seule la sélection des études ainsi que l'extraction des données. Comme nous avons pu le voir précédemment pas toutes les études sélectionnées avaient le même comparateur (groupe contrôle/ groupe d'exercice de stabilité de cheville/ groupe exercice d'équilibre) et même si l'analyse du critère de jugement principal (contrôle postural dynamique) était commune à chaque étude, les auteurs ont utilisés des outils différents pour l'analyse.

Ce travail révèle aussi la présence d'un biais d'évaluation. En effet, à ce jour il n'y a aucun protocole précis et spécifique pour la pratique de la pliométrie ainsi que pour l'analyse du contrôle postural dynamique. Une hétérogénéité des résultats est alors notable, il est de ce fait impossible de réaliser une méta-analyse de cette revue comme cela était prévu initialement.

Il est important de souligner l'absence de source de financement et de lien d'intérêt dans le cadre de la réalisation de cette revue. En effet, ce travail a été réalisé en vue de l'obtention du DEMK³⁴ 2022. Nous avons choisi d'utiliser l'échelle AMSTAR-2 traduite en français par *Pallo et Rostagno* [67]. Celle-ci va nous permettre d'apprécier la qualité méthodologique et la validité interne de cette revue (*cf* : *Annexe 13*).

³⁴ Diplôme d'Etat en Masso-Kinesithérapie.

5. CONCLUSION

L'objectif de cette revue était de faire un état des lieux de la science au sujet de l'efficacité de la pratique d'exercices pliométrique sur le contrôle postural dynamique des personnes présentant une instabilité chronique de cheville, tout en étudiant aussi l'amplitude de mouvement maximale de la cheville et les paramètres d'activations musculaires des stabilisateurs de cheville.

Cette revue de littérature réalisée à partir des données scientifiques actuellement disponibles, ne permet pas de confirmer à ce jour que la pliométrie permet d'améliorer le contrôle postural dynamique chez les patients présentant une instabilité chronique de cheville. En effet, la pratique d'exercice pliométrique ne montre pas significativement une amélioration du contrôle postural dynamique des patients présentant une instabilité chronique de cheville, même si l'ensemble des résultats présentés par les auteurs de ces différentes études ont tendance à converger vers une amélioration de celui-ci. Nos diverses recherches ont mis en évidence qu'aucun gold standard existe à ce jour pour analyser le contrôle postural dynamique.

Concernant l'évolution de l'amplitude de mouvement articulaire de cheville après la pratique d'exercice pliométrique les résultats obtenus dans les études de *Lee et al, 2020* et *Huang et al, 2014* ne nous permettent pas de conclure. De plus l'étude de *Lee et al, 2020* nous fait supposer qu'il y aurait un intérêt possible à combiner des exercices pliométriques et des exercices de stabilité de cheville afin d'améliorer à la fois la force musculaire et l'amplitude de mouvement des articulations. Des études supplémentaires sont donc nécessaires pour obtenir des données plus probantes à ces sujets.

Seule l'activation neuromusculaire des muscles stabilisateurs de chevilles après la pratique d'exercice pliométrique nous montre des résultats significatifs notamment pour l'activation des muscles gastrocnémiens et soléaire dans la phase de pré-atterrissage du test d'atterrissage médian sur une jambe. A noter, que l'ensemble cette étude met en évidence des résultats qui semblent converger vers une amélioration de ce critère de jugement même pour la phase post-atterrissage de ce test. Des études similaires devraient être réalisées sur un échantillon plus grand en différenciant les groupes de patients selon leurs préférences motrices afin de pouvoir conclure sur ce critère de jugement avec plus de certitude.

Dans cette revue de littérature la population étudiée est une population sportive. De ce fait les résultats obtenus dans cette revue ne peuvent être généralisés à toute population. La réalisation d'un programme pliométrique est différente en fonction de l'âge et de la condition physique des patients. L'intensité des exercices sera adaptée en fonction de chacun. Par conséquent il est possible d'obtenir des divergences concernant les résultats en fonction du programme qui sera utilisé et de la population cible [11]. Les recherches réalisées dans le cadre de la réalisation de cette revue, ont permis de mettre en évidence certaines limites de la littérature scientifique concernant ce sujet. En effet, peu d'études sont disponibles, et celles-ci sont peu comparables entre elles. Ces études présentaient des échantillons de trop faible taille et le manque de données et d'informations nécessaires à certains calculs étaient notables. De plus, aucune de ces études ne respectaient les critères d'aveuglement. Tout cela ne nous a donc pas permis d'obtenir des conclusions avec certitudes. En découle alors le fait, que des études futures réalisées avec une meilleure qualité méthodologique en trouvant les solutions permettant de maximiser l'aveuglement des sujets, thérapeutes et des évaluateurs permettraient d'obtenir des résultats plus probants. Sans oublier que la réalisation d'études présentant des échantillons plus grands et plus représentatifs de la population cible permettraient aussi d'obtenir un niveau de preuve scientifique supérieur. Il faut rajouter qu'à ce jour il n'existe aucun protocole

standardisé à la pratique d'exercice pliométrique en kinésithérapie, notamment pour la cheville. Ceci est certainement dû au fait de son utilisation plutôt récente dans ce domaine³⁵.

Pour conclure, ce travail met tout de même en évidence des pistes de recherches encourageantes qu'il faut continuer d'étudier concernant l'intérêt de la pliométrie dans le traitement de l'instabilité chronique de cheville.

³⁵ Nous constatons que les études disponibles à ce sujet sont récentes allant de 2014 à 2021.

6. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Herzog MM, Kerr ZY, Marshall SW, Wikstrom EA. Epidemiology of Ankle Sprains and Chronic Ankle Instability. *J Athl Train* 2019;54:603. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-447-17>.
- [2] P.Gillet NP. L'entorse de cheville : Prise en charge des lésions fraîches et prévention des instabilités secondaires. *Rev Med Liege* 2005;60.
- [3] Hølmer P, Søndergaard L, Konradsen L, Nielsen PT, Jørgensen LN. Epidemiology of Sprains in the Lateral Ankle and Foot. *Foot Ankle Int* 1994;15:72–4. <https://doi.org/10.1177/107110079401500204>.
- [4] Yves Tourné et Christian Mabit. La cheville instable ; p46-225. 2015.
- [5] Vega Jordi; Golanó Pau. ANKLE SPRAIN: DIAGNOSIS AND THERAPY STARTS WITH KNOWLEDGE OF ANATOMY. *ASPETAR Sport Med J* 2018.
- [6] McKay G, Goldie P, Payne W, Oakes B. Ankle injuries in basketball: injury rate and risk factors. *Br J Sports Med* 2001;35:103. <https://doi.org/10.1136/BJSM.35.2.103>.
- [7] AS A, CE H, RM S, M S, A G, PJ S. Chronic ankle instability in sporting populations. *Sports Med* 2014;44:1545–56. <https://doi.org/10.1007/S40279-014-0218-2>.
- [8] AA B, MR M, RM L. Plyometric Training Effects on Athletic Performance in Youth Soccer Athletes: A Systematic Review. *J Strength Cond Res* 2015;29:2351–60. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000877>.
- [9] BJ M, P W, R D, D L, C T, DA G, et al. Effects of Plyometric and Resistance Training on Muscle Strength, Explosiveness, and Neuromuscular Function in Young Adolescent Soccer Players. *J Strength Cond Res* 2018;32:3039–50. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002428>.
- [10] Pardos-Mainer E, Lozano D, Torrontegui-Duarte M, Cartón-Llorente A, Roso-Moliner A. Effects of Strength vs. Plyometric Training Programs on Vertical Jumping, Linear Sprint and Change of Direction Speed Performance in Female Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18. <https://doi.org/10.3390/IJERPH18020401>.
- [11] James Radcliffe et Robert C. Farentinos. High-Powered Plyometrics ; p10-75. 2019.
- [12] Struijs PA, Kerkhoffs GM. Ankle sprain. *BMJ Clin Evid* 2010;2010.
- [13] Kobayashi T, Tanaka M, Shida M. Intrinsic Risk Factors of Lateral Ankle Sprain: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Health* 2016;8:190. <https://doi.org/10.1177/1941738115623775>.
- [14] AR M-M, C W, D R. The effect of reduced ankle dorsiflexion on lower extremity mechanics during landing: A systematic review. *J Sci Med Sport* 2017;20:451–8. <https://doi.org/10.1016/J.JSAMS.2015.06.006>.
- [15] Gribble PA. Evaluating and Differentiating Ankle Instability. *J Athl Train* 2019;54:617. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-484-17>.
- [16] Hertel J, Corbett RO. An Updated Model of Chronic Ankle Instability. *J Athl Train* 2019;54:572. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-344-18>.
- [17] C T, S S, R R, A B, J van D, P M. Factors Contributing to Chronic Ankle Instability: A Systematic Review and Meta-Analysis of Systematic Reviews. *Sports Med* 2018;48:189–205. <https://doi.org/10.1007/S40279-017-0781-4>.
- [18] Mettler A, Chinn L, Saliba SA, McKeon PO, Hertel J. Balance Training and Center-of-Pressure

- Location in Participants With Chronic Ankle Instability. *J Athl Train* 2015;50:343. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.3.94>.
- [19] Hertel J. Functional Anatomy, Pathomechanics, and Pathophysiology of Lateral Ankle Instability. *J Athl Train* 2002;37:364–75.
- [20] Dufour M. Anatomie de l'appareil locomoteur. Tome 1, Membre inférieur, p139-153 n.d.:543.
- [21] Brockett CL, Chapman GJ. Biomechanics of the ankle. *Orthop Trauma* 2016;30:232. <https://doi.org/10.1016/J.MPORTH.2016.04.015>.
- [22] Hoch MC, Farwell KE, Gaven SL, Weinhandl JT. Weight-Bearing Dorsiflexion Range of Motion and Landing Biomechanics in Individuals With Chronic Ankle Instability. *J Athl Train* 2015;50:833. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-50.5.07>.
- [23] X X, T M, Q L, Y S, Y H. Chronic ankle instability is associated with proprioception deficits: A systematic review and meta-analysis. *J Sport Heal Sci* 2021;10:182–91. <https://doi.org/10.1016/J.JSHS.2020.09.014>.
- [24] L L, M M, M G, V A, M K, MG B. Muscle activations during functional tasks in individuals with chronic ankle instability: a systematic review of electromyographical studies. *Gait Posture* 2021;90:340–73. <https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2021.09.182>.
- [25] Jeon HG, Lee SY, Park SE, Ha S. Ankle Instability Patients Exhibit Altered Muscle Activation of Lower Extremity and Ground Reaction Force during Landing: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Sports Sci Med* 2021;20:373. <https://doi.org/10.52082/JSSM.2021.373>.
- [26] B W, S M, A S, G G, J G, C S, et al. Ankle Strength Deficits in a Cohort of College Athletes With Chronic Ankle Instability. *J Sport Rehabil* 2019;28:752–7. <https://doi.org/10.1123/JSR.2018-0092>.
- [27] BK C, JK P, SM C, SW K, NF S. The peroneal strength deficits in patients with chronic ankle instability compared to ankle sprain copers and normal individuals. *Foot Ankle Surg* 2019;25:231–6. <https://doi.org/10.1016/J.FAS.2017.10.017>.
- [28] CE H, KM R, AC B, RD H, SL K. The Cumberland ankle instability tool: a report of validity and reliability testing. *Arch Phys Med Rehabil* 2006;87:1235–41. <https://doi.org/10.1016/J.APMR.2006.05.022>.
- [29] RL M, JJ I, RG B, SF C, JM VS. Evidence of validity for the Foot and Ankle Ability Measure (FAAM). *Foot Ankle Int* 2005;26:968–83. <https://doi.org/10.1177/107110070502601113>.
- [30] Eechaute C, Vaes P, Aerschot L Van, Asman S, Duquet W. The clinimetric qualities of patient-assessed instruments for measuring chronic ankle instability: A systematic review. *BMC Musculoskelet Disord* 2007;8:6. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-8-6>.
- [31] Bachmann LM, Kolb E, Koller MT, Steurer J, Ter Riet G. Accuracy of Ottawa ankle rules to exclude fractures of the ankle and mid-foot: systematic review. *BMJ Br Med J* 2003;326:417. <https://doi.org/10.1136/BMJ.326.7386.417>.
- [32] Plisky PJ, Gorman PP, Butler RJ, Kiesel KB, Underwood FB, Elkins B. The Reliability of an Instrumented Device for Measuring Components of the Star Excursion Balance Test. *N Am J Sports Phys Ther* 2009;4:92.
- [33] Gribble PA, Hertel J, Plisky P. Using the Star Excursion Balance Test to Assess Dynamic Postural-Control Deficits and Outcomes in Lower Extremity Injury: A Literature and Systematic Review. *J Athl Train* 2012;47:339. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.3.08>.

- [34] J H, RA B, SA H, LC O-K. Simplifying the star excursion balance test: analyses of subjects with and without chronic ankle instability. *J Orthop Sports Phys Ther* 2006;36:131–7. <https://doi.org/10.2519/JOSPT.2006.36.3.131>.
- [35] Eechaute C, Vaes P, Duquet W. The dynamic postural control is impaired in patients with chronic ankle instability: reliability and validity of the multiple hop test. *Clin J Sport Med* 2009;19:107–14. <https://doi.org/10.1097/JSM.0B013E3181948AE8>.
- [36] Hahn ME, Chou LS. Age-related reduction in sagittal plane center of mass motion during obstacle crossing. *J Biomech* 2004;37:837–44. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOMECH.2003.11.010>.
- [37] McCriskin BJ, Cameron KL, Orr JD, Waterman BR. Management and prevention of acute and chronic lateral ankle instability in athletic patient populations. *World J Orthop* 2015;6:161. <https://doi.org/10.5312/WJO.V6.I2.161>.
- [38] KB K, RS M, M T, PA G. Therapeutic interventions for improving self-reported function in patients with chronic ankle instability: a systematic review. *Br J Sports Med* 2017;51:105–12. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2016-096534>.
- [39] K T, D M, D G, MS C. Efficacy of non-surgical interventions on dynamic balance in patients with ankle instability: A network meta-analysis. *J Sci Med Sport* 2018;21:873–9. <https://doi.org/10.1016/J.JSAMS.2018.01.017>.
- [40] Powden CJ, Hoch JM, Hoch MC. Rehabilitation and Improvement of Health-Related Quality-of-Life Detriments in Individuals With Chronic Ankle Instability: A Meta-Analysis. *J Athl Train* 2017;52:753. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-52.5.01>.
- [41] Wang Y-C, Zhang N. Effects of plyometric training on soccer players. *Exp Ther Med* 2016;12:550. <https://doi.org/10.3892/ETM.2016.3419>.
- [42] Zanon S. Plyometrics : past and present 1989.
- [43] Davies G, Riemann BL, Manske R. CURRENT CONCEPTS OF PLYOMETRIC EXERCISE. *Int J Sports Phys Ther* 2015;10:760.
- [44] PM C, SP S. Etiology of exercise-induced muscle damage. *Can J Appl Physiol* 1999;24:234–48. <https://doi.org/10.1139/H99-020>.
- [45] Han J, Anson J, Waddington G, Adams R, Liu Y. The Role of Ankle Proprioception for Balance Control in relation to Sports Performance and Injury. *Biomed Res Int* 2015;2015. <https://doi.org/10.1155/2015/842804>.
- [46] Michalak KP, Przekoracka-Krawczyk A, Naskręcki R. Parameters of the crossing points between center of pressure and center of mass signals are potential markers of postural control efficiency. *PLoS One* 2019;14. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0219460>.
- [47] Massion J. Movement, posture and equilibrium: Interaction and coordination. *Prog Neurobiol* 1992;38:35–56. [https://doi.org/10.1016/0301-0082\(92\)90034-C](https://doi.org/10.1016/0301-0082(92)90034-C).
- [48] Langdon RJ, Yousefi PD, Relton CL, Suderman MJ. Epigenetic modelling of former, current and never smokers. *Clin Epigenetics* 2021. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>.
- [49] Cashin AG, McAuley JH. Clinimetrics: Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale. *J Physiother* 2020;66:59. <https://doi.org/10.1016/J.JPHYS.2019.08.005>.
- [50] Higgins JPT, Altman DG, Gøtzsche PC, Jüni P, Moher D, Oxman AD, et al. The Cochrane Collaboration’s tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ* 2011;343.

<https://doi.org/10.1136/BMJ.D5928>.

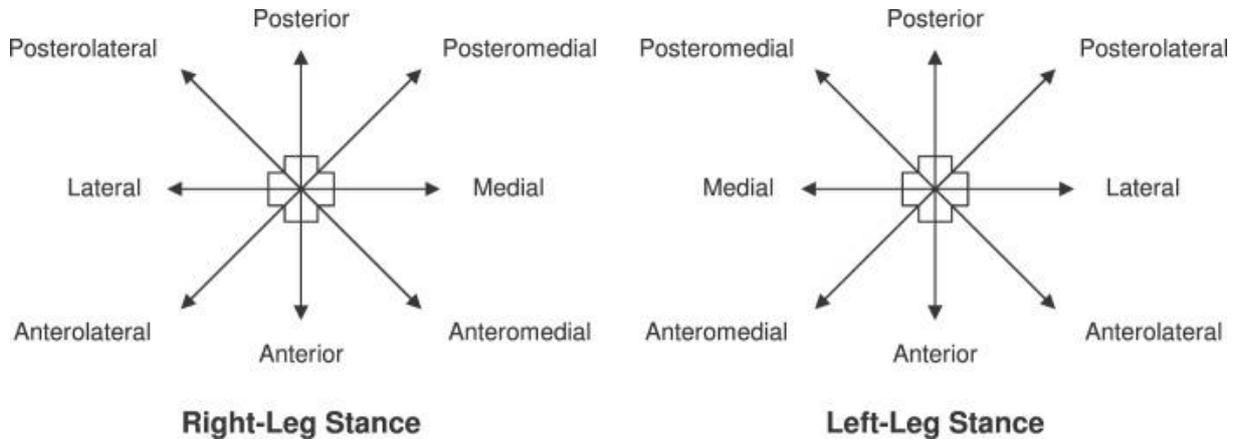
- [51] Huang PY, Chen WL, Lin CF, Lee HJ. Lower extremity biomechanics in athletes with ankle instability after a 6-week integrated training program. *J Athl Train* 2014;49:163–72. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.2.10>.
- [52] Radenne É, Scohier M. Effet d'un programme avec exercices pliométriques vs. proprioceptifs sur la stabilité dynamique de basketteurs amateurs. *Kinesithérapie* 2017;17:3–10. <https://doi.org/10.1016/J.KINE.2017.02.129>.
- [53] Surakhamhaeng A, Bovonsunthonchai S, Vachalathiti R. Effects of balance and plyometric training on balance control among individuals with functional ankle instability Knee muscular control during jump landing in multidirections View project Effects of balance and plyometric training on balance control among. *Physiother Q* 2020;28:38–45. <https://doi.org/10.5114/pq.2020.92474>.
- [54] Lee HM, Oh S, Kwon JW. Effect of Plyometric versus Ankle Stability Exercises on Lower Limb Biomechanics in Taekwondo Demonstration Athletes with Functional Ankle Instability. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17103665>.
- [55] Huang P-Y, Jankaew A, Lin C-F. Effects of Plyometric and Balance Training on Neuromuscular Control of Recreational Athletes with Functional Ankle Instability: A Randomized Controlled Laboratory Study. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18. <https://doi.org/10.3390/IJERPH18105269>.
- [56] Ardakani MK, Wikstrom EA, Minoonejad H, Rajabi R, Sharifnezhad A. Hop-Stabilization Training and Landing Biomechanics in Athletes With Chronic Ankle Instability: A Randomized Controlled Trial. *J Athl Train* 2019;54:1296. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-550-17>.
- [57] Hall EA, Docherty CL, Simon J, Kingma JJ, Klossner JC. Strength-training protocols to improve deficits in participants with chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *J Athl Train* 2015;50:36–44. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.3.71>.
- [58] Myer GD, Ford KR, McLean SG, Hewett TE. The effects of plyometric versus dynamic stabilization and balance training on lower extremity biomechanics. *Am J Sports Med* 2006;34:445–55. <https://doi.org/10.1177/0363546505281241>.
- [59] Minoonejad H, Ardakani MK, Rajabi R, Wikstrom EA, Sharifnezhad A. Hop Stabilization Training Improves Neuromuscular Control in College Basketball Players With Chronic Ankle Instability: A Randomized Controlled Trial. *J Sport Rehabil* 2019;28:576–83. <https://doi.org/10.1123/JSR.2018-0103>.
- [60] Martin RL, Davenport TE, Paulseth S, Wukich DK, Godges JJ. Ankle stability and movement coordination impairments: Ankle ligament sprains. *J Orthop Sports Phys Ther* 2013;43:1–40. <https://doi.org/10.2519/JOSPT.2013.0305/ASSET/IMAGES/LARGE/JOSPT-A1-FIG002.JPEG>.
- [61] Sekir U, Yildiz Y, Hazneci B, Ors F, Saka T, Aydin T. Reliability of a functional test battery evaluating functionality, proprioception, and strength in recreational athletes with functional ankle instability. *Eur J Phys Rehabil Med* 2008;44:407–15.
- [62] Mitchell A, Dyson R, Hale T, Abraham C. Biomechanics of ankle instability. Part 2: Postural sway-reaction time relationship. *Med Sci Sports Exerc* 2008;40:1522–8. <https://doi.org/10.1249/MSS.0B013E31817356D6>.
- [63] Oppelt K, Hogan A, Stief F, Grützner PA, Trinler U. Movement Analysis in Orthopedics and Trauma Surgery - Measurement Systems and Clinical Applications. *Z Orthop Unfall* 2020;158:304–16. <https://doi.org/10.1055/A-0873-1557>.

- [64] Neamatallah Z, Herrington L, Jones R. An investigation into the role of gluteal muscle strength and EMG activity in controlling HIP and knee motion during landing tasks. *Phys Ther Sport* 2020;43:230–5. <https://doi.org/10.1016/J.PTSP.2019.12.008>.
- [65] Simpson JD, Stewart EM, Turner AJ, Macias DM, Wilson SJ, Chander H, et al. Neuromuscular control in individuals with chronic ankle instability: A comparison of unexpected and expected ankle inversion perturbations during a single leg drop-landing. *Hum Mov Sci* 2019;64:133–41. <https://doi.org/10.1016/J.HUMOV.2019.01.013>.
- [66] Lussiana T, Potier C, Gindre C. Motor preferences in running and quiet standing. *Sci Sports* 2018;33:e249–52. <https://doi.org/10.1016/J.SCISPO.2018.04.006>.
- [67] Pallot A, Rostagno S. AMSTAR-2 : traduction française de l'échelle de qualité méthodologique pour les revues de littérature systématiques. *Kinésithérapie, La Rev* 2021;21:13–4. <https://doi.org/10.1016/J.KINE.2019.12.050>.
- [68] Schwiertz G, Beurskens R, Muehlbauer T. Discriminative validity of the lower and upper quarter Y balance test performance: a comparison between healthy trained and untrained youth. *BMC Sport Sci Med Rehabil* 2020 121 2020;12:1–8. <https://doi.org/10.1186/S13102-020-00220-W>.

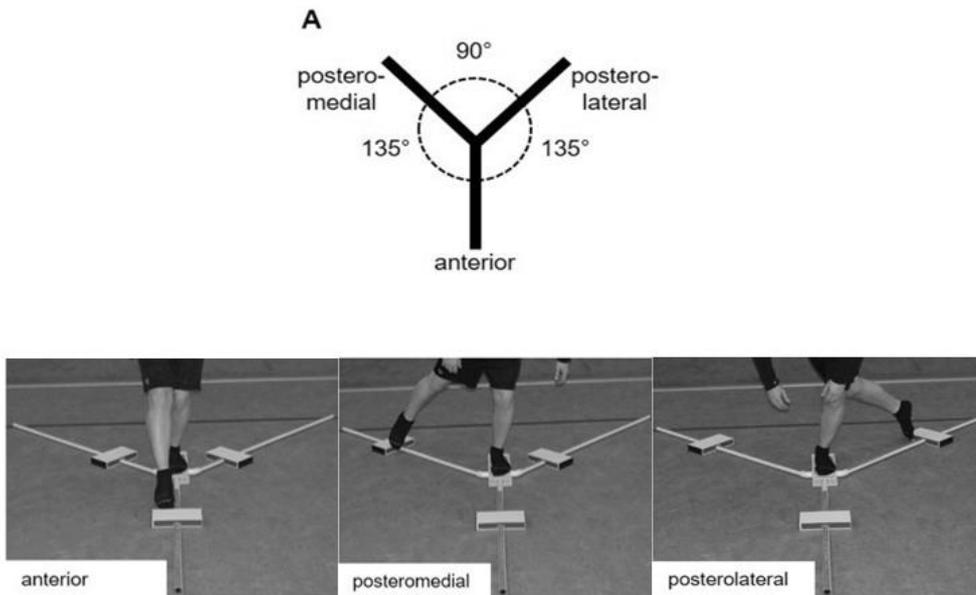
7. ANNEXES

- [Annexe 1 : Le Star Excursion Balance test \(SEBT\) \[33\].](#)
- [Annexe 2 : Le Y-Balance test \(YBT\)\[68\]](#)
- [Annexe 3 : L'échelle PEDro traduction française¹⁷.](#)
- [Annexe 4 : Programmes d'intervention pour le groupe réalisant des exercices pliométriques et le groupe réalisant des exercices d'équilibre, dans les études de Huang et al, 2014 \[50\] et Huang et al, 2021 \[54\].](#)
- [Annexe 5 : Etude de Lee et al, 2020 \[53\] : Programme d'exercice pour le groupe réalisant des exercices de stabilité de cheville et le groupe réalisant des exercices pliométriques.](#)
- [Annexe 6 : Etude de Radenne et al, 2017 \[51\] : Programme d'exercice pour le groupe contrôle et le groupe pliométrique.](#)
- [Annexe 7 : Surakhamhaeng et al, 2020 \[52\] : programme du groupe pliométrique et du groupe exercice d'équilibre.](#)
- [Annexe 8 : Tableau 7 à Tableau 17.](#)
- [Annexe 9 : Tableau 22 synthèse des résultats post-traitements.](#)
- [Annexe 10: Postulats de l'approche Volodalen® : les profils terriens et aériens³².](#)
- [Annexe 11 : Classification générale du niveau de preuve d'une étude ³³.](#)
- [Annexe 12: Grade des recommandations ³³.](#)
- [Annexe 13 : Qualité méthodologique de cette revue par l'utilisation de la grille AMSTAR-2.](#)

[Annexe 1 : Le Star Excursion Balance Test \(SEBT\) \[33\].](#)



[Annexe 2 : Le Y-Balance Test \[68\]](#)



Annexe 3 : L'échelle PEDro traduction française¹⁷.

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

Annexe 4 : Programmes d'intervention pour le groupe réalisant des exercices pliométriques et le groupe réalisant des exercices d'équilibre, dans les études de Huang et al, 2014 [50] et Huang et al, 2021 [54].

| Semaines | Groupe pliométrique | Répétitions x séries | Groupe équilibre + pliométrie | Répétitions x séries |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------------|---|-----------------------------|
| 1, 2 | Squat jumps | 10 x 2 | Squat jumps | 10 x 2 |
| | Ankle jumps | 10 x 2 | Balanced squat | 10 x 2 |
| | Jump for distance | 10 x 2 | Balanced dribble | 20 x 5 |
| | Forward zigzag jumps | 10 x 3 | Forward zigzag jumps | 10 x 3 |
| | Lateral sawtooth jumps | 10 x 3 | Lateral sawtooth jumps | 10 x 3 |
| | Jump up on step | 8 x 2 | Jump up on step | 8 x 2 |
| 3,4 | Split-squat jumps (right/left) | 10 x 2 | Split-squat jumps (right/left) | 10 x 2 |
| | Hop for distance (right/left) | 10 x 2 | Balance lunge (1 disc, right/left) | 10 x 2 |
| | Forward zigzag hops (right/left) | 10 x 3 | Forward zigzag hops (right/left) | 10 x 3 |
| | Lateral sawtooth hops (right/left) | 10 x 3 | Balnce single-leg standing (right/left) | 10 s x 5 |
| | Tuck jump | 10 x 2 | Tuck jump | 10 x 2 |
| | Diagonal hop | 8 x 2 | Agility ladder | 8 x 2 |
| | Jump up on step | 10 x 2 | Jump up on step | 10 x 2 |
| 5,6 | Cycled single-leg squat jumps | 10 x 2 | Cycled single-legged squat jumps | 10 x 2 |
| | Hop on target (right/left) | 12 x 2 | Balance lunge (2discs, right/left) | 12 x 2 |
| | Jump for distance and height | 10 x 2 | Jump for distance and high | 10 x 2 |
| | Forward zigzag hops (right/left) | 10 x 3 | Forward zigzag hops (right/left) | 10 x 3 |
| | Lateral sawtooth hops (right/left) | 10 x 3 | Tuck jump | 10 x 2 |
| | Tuck jump | 10 x 2 | Agility ladder | 3 x 1 |
| | Agility ladder | 3 x 1 | Jump up on step | 10 x 2 |
| | Jump up on step | 10 x 1 | Balanced, single-legged standing dribble (right/left) | 20 x 5 |

Annexe 5 : Etude de Lee et al, 2020 [53] : Programme d'exercice pour le groupe réalisant des exercices de stabilité de cheville et le groupe réalisant des exercices pliométriques.

| Semaines | Groupe pliométriques | Groupe exercice de stabilité de cheville |
|-------------------|---------------------------------------|---|
| 1, 2, 3, 4 | X hops (right/left) | Star excursion exercise |
| | Forward hops | Elastic band exercise |
| | Forward zigzag hops | Lower limbs squat |
| | Skater hops | Calf raise |
| | Lateral shuffle | Short foot exercise |
| | Step up jump on box | Balance Pad leg standing |
| | Step up to reverse lunge (right/left) | Balance Pad one leg standing |
| | | Balance Pad Lunge |
| 5, 6, 7, 8 | Squat jumps | Star excursion exercise |
| | Split squat jumps | Elastic Band exercise |
| | X hops (right/left) | Lower limbs exercise |
| | Ankle hops | Calf raise |
| | Side hop over box | Short foot exercise |
| | Depth drop jump | Balance Pad leg standing |
| | Standing long jump with box jump | Balance Pad one leg standing |
| | | Balance Pad lunge to kick |
| | Balance Pad standing | |

[Annexe 6 : Etude de Radenne et al, 2017 \[51\] : Programme d'exercice pour le groupe contrôle et le groupe pliométrique.](#)

| Groupe contrôle | Groupe pliométrique |
|---|---|
| Entraînement de basket-ball classique | Entraînement de basket-ball classique |
| | Sauts en hauteur |
| | Sauts vers l'avant au-dessus des plots |
| | Sauts en longueur |
| | Sauts latéraux au-dessus d'une barrière |
| | Saut vers l'avant pieds joints |
| | Sauts latéraux au-dessus d'un plot |
| | Sauts en diagonale |
| | Sauts en longueur avec sprints latéral |
| | Sauts vers l'avant sur un pied |
| | Sauts latéraux sur un pied |

Dans cette étude, tous les participants ont réalisé 2 entraînements d'une durée de 1 h30 par semaine pendant 4 semaines. L'intensité des exercices augmentait progressivement pendant les 4 semaines ainsi que le volume d'entraînement qui allait de 90 à 140 contacts pied-sol par session. Les exercices pliométriques étaient effectués en moyenne durant 15 minutes, à raison de 30 secondes pour chaque jambe et un temps de repos de 30 secondes était accordé entre chaque exercice.

Annexe 7 : Surakhamhaeng et al, 2020 [52] : programme du groupe pliométrique et du groupe exercice d'équilibre.

| <u>Echauffement et récupération</u> | <u>Groupe exercice d'équilibre</u> | | | | <u>Groupe exercice pliométrique</u> | |
|--|------------------------------------|-------------|-----------------|--|-------------------------------------|---|
| | <u>Semaine</u> | <u>Yeux</u> | <u>S/ B</u> | <u>Exercice</u> | <u>Semaine</u> | <u>Exercice</u> |
| Echauffement - Side step jack - Jogging - Double knee pulls - Jumping jack | 1 | O | S | - Single leg stance - Single leg stance while swinging the raised leg - Single-leg squat(30°-45°) - Single-leg stance while performing kicking | 1 et 2 | -Skater -Squat jump -Ankle jump -Ski jump |
| | 2 | F | S | - Single leg stance - Single-leg stance while swinging the raised leg - Single-leg squat (30°-45°) - Single-leg stance while performing kicking | | |
| Récupération (étirements) - Etirements triceps sural - Etirements du quadriceps - Etirements des ischios jambiers - Etirement des adducteurs -Etirement des fléchisseurs de hanche | 3 | O | B | Single-leg stance Single-leg stance while swinging the raised leg Single-leg squat (30-45°) Single-leg stance while tilting the board | 3 et 4 | - Heisman - Low squat foot switch - Two-feet front to back ankle hop - Two-feet side to side ankle hop |
| | 4 | F | B | -Single leg stance -Single-leg stance while swinging the raised leg -Single-leg squat (30-45°) -Single-leg stance while tilting the board | | |
| | | O | | | | |
| | 5 et 6 | F | | -Single-leg stance. -Single-leg squat (30-45°) -Single-leg stance while tilting the board -Single-leg stance while performing kicking | 5 et 6 | -Heisman -Low squat in and out -One-leg ankle jump -One-leg side to side ankle hop |

O : ouvert; F: fermé; B: board ; S : sol.

Annexe 8 : Tableau 7 à 17.

Tableau 7: Comparaison inter-groupe des deux groupes de l'étude de Lee et al, 2020

| | Groupe | Pré entraînement M ± ET [IC95] | Post entraînement M ± ET [IC95] | DIG ± ET [IC95] |
|-----------------------------|--------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| SC (%) | PLIO | 99,97 ± 5,54 [94,84 ;105,09] | 108,91 ± 3,69 [105,49 ; 112,32] | 8,94 ± 3,17 [6,00 ;11,87] |
| | ASE | 92,79 ± 10,20 [83,27 ;102,30] | 108,03 ± 6,24 [102,25 ;113,80] | 15,23 ± 6,26 [9,44 ;21,01] |
| COP X (mm) | PLIO | 10,63 ± 1,07 [9,64 ; 11,61] | 9,29 ± 1,01 [8,35 ;10,22] | -1,34 ± 1,30 [-2,54 ; -0,13] |
| | ASE | 10,11 ± 1,23 [8,97 ;11,2] | 8,99 ± 0,50 [8,52 ;9,45] | -1,11 ± 0,90 [-1,94 ; -0,27] |
| COP Y (mm) | PLIO | 16,86 ± 4,88 [12,34 à 21,37] | 14,47 ± 1,92 [12,69 ; 16,24] | -2,39 ± 4,03 [-6,11 ; 1,33] |
| | ASE | 14,40 ± 5,4 [9,4 ; 19,39] | 14,07 ± 2,14 [12,09 ; 16,04] | -0,32 ± 0,92 [-1,17 ; 0,53] |
| Mesures à 8 semaines | | | Taille de l'effet [IC95] | |
| SC (%) | | | -0,88 [-6,85 ; 5,09] | |
| COP X en (mm) | | | -0,3 [-1,23 ; 0,63] | |
| COP Y en (mm) | | | -0,4 [-2,77 ; 1,97] | |

PLIO : groupe pliométrique ; ASE : groupe exercices de stabilité de cheville ; M : Moyenne ; ET : Ecart-types ; DIG : différence intra-groupe ; IC95 : intervalle de confiance à 95% ; SC : Scores composites normalisés ; COP X : Balancement du centre de pression dans la direction antéro-postérieur ; COP Y : balancement du centre de pression dans la direction médiale-latérale ; % : pourcents ; mm : millimètre .

Tableau 8: Comparaison inter-groupe des deux groupes de l'étude de Radenne et al,2017

| | Groupe | Pré entraînement M ± ET [IC95] | | | Post entraînement M ± ET [IC95] | | | Evolution | | |
|-----------------------------|---------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------|-------|-------|
| | | Ant | PM | PL | Ant | PM | PL | Ant | PM | PL |
| Score SEBT (%) | CTRL (IFC) | 74,6 ± 4,7 [71,44 à 77,75] | 81,5 ± 9,3 [75,25 à 87,74] | 77,4 ± 11,3 [69,80 à 84,99] | 74,6 ± 4,7 (*) [71,44 à 77,75] | 81,5 ± 9,3 (*) [75,25 ; 87,74] | 77,4 ± 11,3 (*) [69,80 ; 84,99] | 0 (*) | 0 (*) | 0 (*) |
| | PLIO (IFC) | 70,8 ± 6,2 [66,03 à 75,56] | 78,4 ± 6,2 [73,63 à 83,16] | 70,8 ± 9,2 [63,72 à 77,87] | 74,4 ± 3,4 [71,78 ; 77,01] | 85,7 ± 3,7 [82,85 ; 88,54] | 80,00 ± 6,2 [75,23 ; 84,76] | 3,6 | 7,3 | 9,2 |
| Mesures à 4 semaines | | | | | Taille de l'effet [IC95] | | | | | |
| Score SEBT (%) Ant | | | | | 0,2 [-3,74 ; 4,14] | | | | | |
| Score SEBT (%) Postéro-med | | | | | -4,2 [-2,75; 11,15] | | | | | |
| Score SEBT (%) Postéro-lat | | | | | -2,6 [-6,26; 11,46] | | | | | |

CTRL : groupe contrôle ; PLIO : groupe pliométrique ; Ant : direction antérieure ; PM : direction postéro-médiale ; PL : direction postéro-latérale ; IFC : instabilité fonctionnelle de cheville ; DIG : différence intra-groupe ; M : moyenne ; ET : écart-type ; IC95 : intervalle de confiance à 95%.

(*) : compte tenu de la non communication exacte des résultats post-entraînement du groupe contrôle et du discours tenu par l'auteur dans la partie résultat soit « le score SEBT du groupe CTRL est resté stable du pré au post-entraînement pour un appui du côté avec IFC ou du côté sain dans chacune des directions avec une évolution du score inférieure à 1 % » [52] , les données pré entraînement ont été réutilisés.

Tableau 9 : Comparaison intra-groupe du TTS pour le groupe pliométrique de l'étude de Huang et al, 2014.

| Mesure | Groupe | Pré-entraînement M ± ET [IC95] | Post-entraînement M ± ET [IC95] | Evolution à 6 semaines |
|--|--------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| TTS (s) pour l'angle de flexion du genou | PLIO | 3,08 ± 1,05 [2,32 ; 3,8] | 1,63 ± 0,43 [1,32 ; 1,9] | -1,45 |

PLIO : groupe pliométrique ; M : moyenne ; ET : écart-type ; IC95 : intervalle de confiance à 95% ; DIG : différence intra-groupe ; TTS : temps de stabilisation ; s : seconde.

Tableau 10 : Comparaison intra-groupe du DPR entre le COP et le COM pour le groupe pliométrique de l'étude de Huang et al, 2014.

| Mesure | Groupe | Pré-entraînement M ± ET [IC95] | Post-entraînement M ± ET [IC95] | Evolution à 6 semaines |
|---------------------------------|--------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| DPR entre COM et COP (mm) | PLIO | 258,38 ± 87,34 [195,90 ; 320,85] | 209,09 ± 102,11 [136,04 ; 282,13] | -49,29 |

PLIO : groupe pliométrique ; M : moyenne ; ET : écart-type ; IC95 : intervalle de confiance à 95% ; DPR : déplacement relatif ; COM : centre de masse ; COP : centre de pression ; mm : millimètre.

Tableau 11 : Comparaison intra-groupe du TAj pour le groupe pliométrique de Huang et al, 2021.

| Mesures | Groupe | Pré entraînement M ± ET [IC95] | Post entraînement M ± ET [IC95] | DIG M ± ET [IC95] |
|--|--------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| TAj (s) muscles fléchisseurs plantaires | PLIO | 3,62 ± 1,37 [2,63 ; 4,60] | 2,60 ± 1,09 [1,82 ; 3,37] | -1,02 ± 0,62 [0,57 ; 1,46] |
| TAj (s) muscle soléaire | PLIO | 2,85 ± 1,15 [2,02 ; 3,67] | 1,87 ± 0,97 [1,17 ; 2,56] | -0,98 ± 0,69 [0,48 ; 1,47] |

PLIO : groupe pliométrique ; M : moyenne ; ET : écart-type ; IC95 : intervalle de confiance à 95% ; TAj : temps d'ajustement.

Tableau 12 : Résultats de l'étude de Surakhamhaeng et al, 2020.

| Mesures | Gp | Pré- entraînement Mé [IQR] | Post- entraînement 4 semaines Mé [IQR] | Post entraînement 6 semaines Mé [IQR] | Evol° à 4 semaines Mé | Evol° à 6 semaines Mé |
|---|------|----------------------------------|---|--|-----------------------------|-----------------------------|
| TTS – ML (s) | E | 2,36 [1,34-2,55] | 1,85 [1,21-3,09] | 2,01 [1,32-2,42] | -0,51 | -0,35 |
| | PLIO | 1,85 [1,48-2,06] | 1,11 [0,87-1,58] | 1,25 [0,80-1,46] | -0,74 | -0,6 |
| TTS- AP (s) | E | 1,64 [1,24-2,23] | 1,64 [1,14-3,05] | 1,58 [1,22-2,29] | 0 | -0,06 |
| | PLIO | 1,24 [1,05-1,81] | 1,04 [0,79-1,35] | 0,92 [0,54-1,36] | -0,2 | -0,32 |
| SEBT DPN Antérieure e (%) | E | 63,06 [56,61- 70,73] | 73,35 [66,34- 77,68] | 76,30 [68,37- 77,67] | 10,29 | 13,24 |
| | PLIO | 63,38 [59,33 - 68,80] | 68,85 [62,22 - 71,56] | 71,06 [65,96 - 74,73] | 5,47 | 7,68 |
| SEBT DPN Postéro- mediale (%) | E | 73,77 [64,50 - 89,08] | 88,34 [74,59 - 94,58] | 99,82 [81,78 - 102,07] | 14,57 | 26,05 |
| | PLIO | 76,74 [67,25 - 99,00] | 90,67 [67,96- 106,47] | 92,01 [72,98 - 105,16] | 13,93 | 15,27 |
| SEBT DPN postéro- latérale (%) | E | 83,22 [76,30 - 104,0] | 94,33 [88,84 - 100,53] | 100,77 [90,69 - 110,15] | 11,11 | 17,55 |
| | PLIO | 92,08 [81,99 - 100,07] | 100,41 [83,27 - 111,26] | 95,47 [88,20 - 116,24] | 8,33 | 3,39 |
| DPC SEBT (%) | E | 72,73 [65,81 – 88,04] | 84,14 [75,91 - 91,48] | 91,65 [80,69 - 96,07] | 11,41 | 18,92 |
| | PLIO | 76,93 [68,94- 89,48] | 84,59 [72,62 - 97,55] | 85,87 [74,87 - 98,12] | 7,66 | 8,94 |

E : groupe équilibre ; groupe pliométrique ; Mé : médiane ; IQR : intervalle interquartile ; TTS : temps total de stabilisation ; ML : médiale-latérale ; AP : antérieure-postérieure ; SEBT : star excursion balance test ; DPN : distance de portée normalisée ; DPC : distance de portée composite ; Evol° : évolution ; s : seconde ; % : pourcent.

Tableau 13 : Comparaison inter-groupe de la ROM pour les deux groupes de l'étude de Lee et al, 2020.

| | Groupes | Pre- exercice M ± ET [IC95] | Post-exercice M ± ET [IC95] | DIG ± ET [IC95] |
|---|---------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| ROM FP de cheville IC (°) | PLIO | 22,33 ± 4,85 [17,84 ; 26,81] | 19,69 ± 4,92 [15,13 ; 24,24] | -2,12 ± 3,49 [-5,34 ; 1,10] |
| | ASE | 24,80 ± 6,40 [18,88 ; 30,71] | 31,56 ± 7,39 [24,72 ; 38,39] | 6,54 ± 5,70 [1,26 ; 11,81] |
| ROM FD de cheville MKF (°) | PLIO | 20,08 ± 4,97 [15,48 ; 24,67] | 18,04 ± 5,80 [12,67 ; 23,40] | -2,04 ± 2,03 [-3,91 ; -0,16] |
| | ASE | 15,36 ± 3,34 [12,27 ; 18,44] | 20,45 ± 5,55 [15,31 ; 25,58] | 5,09 ± 6,93 [-1,31 ; 11,49] |
| Mesures à 6 semaines lors du test d'atterrissage sur une jambe | | | Taille de l'effet | |
| ROM FP de cheville IC (°) | | | 11,87 [4,56 ; 19,18] | |
| ROM FD de cheville MKF(°) | | | 2,41 [-4,20 ; 9,02] | |

PLIO : groupe pliométrique ; ASE : groupe exercice de stabilité de cheville ; M : moyenne ; ET : écart-type ; IC95 : intervalle de confiance à 95 ; DIG : différence intra-groupe ; ROM : amplitude de mouvements maximale ; IC : contact initial ; MKF : flexion maximale de genou ; FP : flexion plantaire ; FD : flexion dorsale.

Tableau 14 : Comparaison inter-groupe de la ROM des deux groupes de l'étude de Huang et al, 2014 lors du latéral drop landing test.

| | Groupes | Pre- exercice M ± ET [IC95] | Post exercice M ± ET [IC95] | Evolution à 6 semaines. |
|---|---------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| ROM FD de cheville (°) | PLIO | 18,16 ± 2,56 [17,21 ; 19,12] | 21,21 ± 2,18 [20,40 ; 22,02] | 3,05 |
| | CTRL | 19,86 ± 3,62 [18,51 ; 21,21] | 20,12 ± 3,57 [18,78 ; 21,45] | 0,26 |
| ROM FP de cheville (°) | PLIO | -17,06 ± 4,76 [-18,84 ; -15,28] | -16,17 ± 5,01 [-18,04 ; -14,29] | 0,89 |
| | CTRL | -15,98 ± 5,56 [-18,06 ; -13,91] | -16,30 ± 4,85 [-18,11 ; -14,49] | -0,32 |
| ROM éversion de cheville (°) | PLIO | -1,69 ± 0,75 [-1,97 ; -1,41] | -1,58 ± 1,50 [-2,14 ; -1,02] | 0,11 |
| | CTRL | -1,57 ± 0,64 [-1,80 ; -1,33] | -1,41 ± 1,02 [-1,79 ; -1,03] | 0,16 |
| ROM inversion de cheville (°) | PLIO | 8,35 ± 2,98 [7,24 ; 9,47] | 6,92 ± 2,71 [5,91 ; 7,93] | -1,43 |
| | CTRL | 6,95 ± 3,19 [5,76 ; 8,14] | 7,42 ± 2,77 [6,39 ; 8,46] | 0,47 |
| Mesures lors du test d'atterrissage latéral à 6 semaines | | | Taille d'effet [IC95] | |
| ROM FD de cheville (°) | | | -1,09 [-3,87 ; 1,69] | |
| ROM FP de cheville (°) | | | -0,13 [-4,76 ; 4,50] | |
| ROM éversion de cheville (°) | | | 0,17 [-1,04 ; 1,38] | |
| ROM inversion de cheville (°) | | | 0,5 [-2,07 ; 3,07] | |

PLIO : groupe pliométrique ; CTRL : groupe contrôle ; M : moyenne ; ET : écart-type ; IC95 : intervalle de confiance à 95% ; ROM : amplitude de mouvement maximale ; FD : flexion dorsale ; FP : flexion plantaire ; ° : degrés.

Tableau 15: Comparaison inter-groupe de la ROM des deux groupes de l'étude de Huang et al, 2014 lors du médial drop landing test.

| | Groupes | Pre-exercice M ± ET [IC95] | Post-exercice M ± ET [IC95] | Evolution à 6 semaines. |
|--|----------------|---------------------------------------|--|------------------------------------|
| ROM FD de cheville (°) | PLIO | 21,84 ± 3,12 [20,67 ; 23,00] | 23,25 ± 3,12 [22,09 ; 24,42] | 1,41 |
| | CTRL | 22,65 ± 2,36 [21,77 ; 23,53] | 23,78 ± 3,10 [22,62 ; 24,94] | 1,13 |
| ROM FP de cheville (°) | PLIO | -16,73 ± 3,44 [-18,01 ; -15,44] | -16,50 ± 4,18 [-18,06 ; -14,95] | 0,23 |
| | CTRL | -17,15 ± 6,08 [-19,42 ; -14,88] | -17,13 ± 5,05 [-19,01 ; -15,24] | 0,02 |
| ROM éversion de cheville (°) | PLIO | -4,53 ± 2,76 [-5,56 ; -3,50] | -2,14 ± 2,32 [-3,00 ; -1,27] | 2,39 |
| | CTRL | -3,64 ± 2,05 [-4,40 ; -2,88] | -3,26 ± 1,37 [-2,28 ; -1,25] | 0,38 |
| ROM inversion de cheville (°) | PLIO | 12,79 ± 4,87 [10,97 ; 14,61] | 9,28 ± 4,77 [7,50 ; 11,06] | -3,51 |
| | CTRL | 12,11 ± 6,10 [9,83 ; 14,39] | 11,06 ± 4,15 [9,51 ; 12,61] | -1,05 |
| Mesures lors du test d'atterrissage médian à 6 semaines | | | Taille d'effet [IC95] | |
| ROM FD de cheville (°) | | | 0,53 [-2,39 ; 3,45] | |
| ROM FP de cheville (°) | | | -0,63 [-4,99 ; 3,73] | |
| ROM éversion de cheville (°) | | | -1,12 [-2,91 ; 0,67] | |
| ROM inversion de cheville (°) | | | 1,78 [-2,42 ; 5,98] | |

PLIO : groupe pliométrique ; CTRL : groupe contrôle ; M : moyenne ; ET : écart-type ; IC95 : intervalle de confiance à 95% ; ROM : amplitude de mouvement maximale ; FD : flexion dorsale ; FP : flexion plantaire ; ° : degrés.

Tableau 16 : Comparaison inter-groupe de l'activité neuromusculaire des muscles stabilisateurs de cheville des deux groupes de l'étude de Huang et al, 2021 lors du médial drop landing test lors de la phase de pré-atterrissage.

| | Groupes | Pre-exercice M ± ET [IC95] | Post-exercice M ± ET [IC95] | Evolution à 6 semaines. |
|---|---------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| EMG TA (%.ms) | PLIO | 34,49 ± 10,98 [26,63 ; 42,34] | 41,89 ± 13,98 [31,88 ; 51,89] | 7,4 |
| | CTRL | 36,88 ± 10,13 [29,63 ; 44,12] | 33,46 ± 12,45 [24,55 ; 42,36] | -3,42 |
| EMG LF (%.ms) | PLIO | 64,24 ± 15,09 [53,44 ; 75,03] | 68,37 ± 26,36 [49,51 ; 87,22] | 4,13 |
| | CTRL | 59,62 ± 12,57 [50,62 ; 68,61] | 61,86 ± 14,05 [51,80 ; 71,91] | 2,24 |
| EMG GL (%.ms) | PLIO | 41,33 ± 19,11 [27,65 ; 55,00] | 73,43 ± 21,80 [57,83 ; 89,02] | 32,1 |
| | CTRL | 48,39 ± 16,92 [36,28 ; 60,49] | 46,56 ± 15,60 [35,40 ; 57,71] | -1,83 |
| EMG GM (%.ms) | PLIO | 58,19 ± 24,97 [40,32 ; 76,05] | 74,88 ± 15,04 [64,12 ; 85,63] | 16,69 |
| | CTRL | 61,21 ± 14,26 [51,00 ; 71,41] | 61,94 ± 11,77 [53,52 ; 70,35] | 0,73 |
| EMG SOL (%.ms) | PLIO | 32,36 ± 10,06 [25,16 ; 39,55] | 66,66 ± 16,49 [54,86 ; 78,45] | 34,3 |
| | CTRL | 37,81 ± 8,29 [31,81 ; 43,74] | 40,03 ± 14,50 [29,65 ; 50,40] | 8,22 |
| Mesures lors de la phase de pré-atterrissage du test d'atterrissage médian à 6 semaines. | | | Taille de l'effet [IC95] | |
| EMG TA (%.ms) | | | 8,43 [-4,01 ; 20,87] | |
| EMG LF (%.ms) | | | 6,51 [-13,34 ; 26,36] | |
| EMG GL (%.ms) | | | 26,87 [9,06 ; 44,68] | |
| EMG GM (%.ms) | | | 12,94 [0,25 ; 25,63] | |
| EMG SOL (%.ms) | | | 26,63 [12,04 ; 41,22] | |

PLIO : groupe pliométrique ; CTRL : groupe contrôle ; TA : tibial antérieur ; LF : long fibulaire ; GL : gastrocnémien latéral ; GM : gastrocnémien médial ; SOL : soléaire ; M : moyenne ; ET : écart-type ; IC95 : intervalle de confiance à 95% ; EMG : électromyogramme ; %.ms : pourcentage par millisecondes.

Tableau 17 : Comparaison inter-groupe de l'activité neuromusculaire des muscles stabilisateurs de cheville des deux groupes des deux groupes de l'étude de Huang et al, 2021 lors du médial drop landing test lors de la phase de post-atterrissage.

| | Groupes | Pre-exercice M ± ET [IC95] | Post-exercice M ± ET [IC95] | DIG |
|--|---------|---------------------------------|----------------------------------|-------|
| EMG TA (%.ms) | PLIO | 102,88 ± 20,93 [87,90 ; 117,85] | 119,29 ± 38,33 [91,81 ; 146,70] | 16,41 |
| | CTRL | 97,32 ± 10,96 [89,47 ; 105,16] | 99,13 ± 23,80 [82,10 ; 116,15] | 1,81 |
| EMG LF (%.ms) | PLIO | 102,67 ± 25,88 [84,15 ; 121,18] | 114,61 ± 25,98 [96,02 ; 133,195] | 11,94 |
| | CTRL | 98,35 ± 18,77 [84,92 ; 111,77] | 94,90 ± 23,28 [78,24 ; 111,55] | -3,45 |
| EMG GL (%.ms) | PLIO | 87,26 ± 19,09 [73,60 ; 100,91] | 85,43 ± 21,58 [69,99 ; 100,86] | -1,83 |
| | CTRL | 92,63 ± 16,89 [80,54 ; 104,71] | 89,74 ± 17,40 [77,29 ; 102,18] | -2,89 |
| EMG GM (%.ms) | PLIO | 89,22 ± 14,51 [78,84 ; 99,59] | 92,39 ± 20,33 [77,84 ; 106,93] | 3,17 |
| | CTRL | 91,87 ± 12,80 [82,71 ; 101,02] | 86,17 ± 17,16 [73,89 ; 98,44] | -5,7 |
| EMG SOL (%.ms) | PLIO | 73,75 ± 24,24 [56,40 ; 91,09] | 77,80 ± 21,33 [62,54 ; 93,05] | 4,05 |
| | CTRL | 78,07 ± 17,43 [65,60 ; 90,53] | 79,01 ± 12,34 [70,18 ; 87,83] | 0,94 |
| Mesures lors de la phase de post-atterrissage du test d'atterrissage médian à 6 semaines. | | | Taille de l'effet [IC95] | |
| EMG TA (%.ms) | | | 20,16 [-9,62 ; 50,14] | |
| EMG PL (%.ms) | | | 19,71 [-3,47 ; 42,89] | |
| EMG GL (%.ms) | | | -4,31 [-22,73 ; 14,11] | |
| EMG GM (%.ms) | | | 6,22 [-11,46 ; 23,89] | |
| EMG SOL (%.ms) | | | -1,21 [-17,58 ; 15,16] | |

PLIO : groupe pliométrique ; CTRL : groupe contrôle ; TA : tibial antérieur ; LF : long fibulaire ; GL : gastrocnémien latéral ; GM : gastrocnémien médial ; SOL : soléaire ; M : moyenne ; ET : écart-type ; IC95 : intervalle de confiance à 95% ; DIG : différence intra-groupe ; EMG : électromyogramme ; %.ms : pourcentage par millisecondes.

Annexe 9.

Tableau 18 : Synthèse des résultats post- traitements.

| | Evaluation du contrôle postural dynamique | | | | | | | | Evaluation de la ROM de la cheville | | | | | | | | Evaluation ANSC | | | |
|---------------------|---|--------------------|----------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|---------|--------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----|-----------------------|-----------------------|
| | YBT | SEBT | | | Système d'analyse du mouvement | | | | | Système d'analyse du mouvement | | | | | | | | EMG | | |
| | SC (%) | A (%) | PM (%) | PL (%) | COP X (mm) | COP Y (mm) | TTS (s) | DPR COM / COP (mm) | TAJ (s) | FD | | FP | | E | | I | | | | |
| Lee et al, 2020 | -0,88 [-6,85 ; 5,09] | | | | -0,3 [-1,23 ; 0,63] | -0,4 [-2,77 ; 1,97] | | | | 2,41 [-4,20 ; 9,02] | | 11,87 [4,56 ; 19,18] | | | | | | | | |
| Radenne et al, 2017 | | 0,2 [-3,74 ; 4,14] | -4,2 [-2,75 ; 11,15] | -0,4 [-2,77 ; 1,97] | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Huang et al, 2014 | | | | | | | NC | NC | | <u>TM</u> 0,53 [-2,39 ; 3,45] | <u>TL</u> -1,09 [-3,87 ; 1,69] | <u>TM</u> -0,63 [-4,99 ; 3,73] | <u>TL</u> -0,13 [-4,76 ; 4,50] | <u>TM</u> -1,12 [-2,91 ; 0,67] | <u>TL</u> 0,17 [-1,04 ; 1,38] | <u>TM</u> 1,78 [-2,42 ; 5,98] | <u>TL</u> 0,5 [-2,07 ; 3,07] | | | |
| Huang et al, 2021 | | | | | | | | NC | | | | | | | | | | | <u>Pré-TM</u> | <u>Post-TM</u> |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | TA | 8,43 [-4,01 ; 20,87] | 20,16 [-9,62 ; 50,14] |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | PL | 6,51 [-13,34 ; 26,36] | 19,71 [-3,47 ; 42,89] |

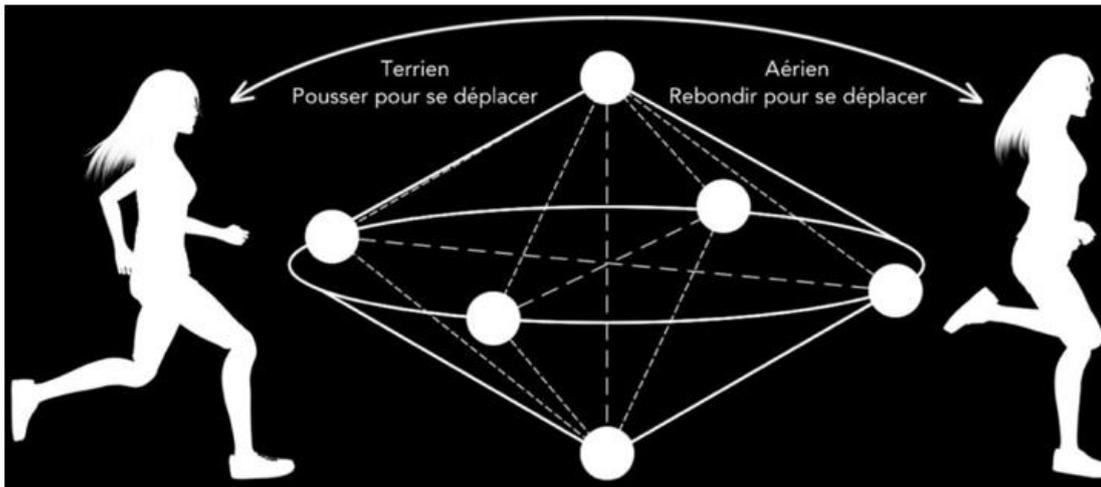
| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|----|----|--|----|--|----|--|--|--|--|--|--|-----|--|----------------------------------|
| Surakhamhaeng et al, 2020 | | | | | | | | | | | | | GL | 26,87 [9,06 ; 44,68] | -4,31 [- 22,73 ; 14,11] |
| | | | | | | | | | | | | | GM | 12,94 [0,25 ; 25,63] | 6,22 [- 11,46 ; 23,89] |
| | | | | | | | | | | | | | SOL | 26,63 [12,04 ; 41,22] | -1,21 [- 17,58 ; 15,16] |
| | NC | NC | | NC | | NC | | | | | | | | | |

Légende : Taille d'effet moyenne [intervalle de confiance à 95%].³⁶

Abréviations : ROM : amplitude de mouvement maximale ; ANSC : activité neuromusculaire des muscles stabilisateurs de cheville ; YBT : Y-balance test ; SEBT : star excursion balance test ; EMG : électromyogramme ; SC : Score Composite ; A : Antérieure ; PM : Postero-médiale ; PL : postero-latérale ; COP X ; ; COP Y : ; TTS : temps total de stabilisation ; TAJ : Temps d'ajustement ; DPR : déplacement relatif ; COM : Centre de masse ; COP : Centre de pression ; FD : flexion dorsale ; FP : flexion plantaire ; E : éversion ; I : inversion ; TA : tibial antérieur ; LF : long fibulaire ; GL : gastrocnémien latéral ; GM : gastrocnémien médial ; SOL : soléaire ; NC : non communiqué.

³⁶ En gras figurent les résultats statistiquement significatifs.

Annexe 10 : Postulats de l'approche Volodalen® : les profils aériens et terrien³².



| Foulée | Terrienne | Aérienne |
|---------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Déplacement préférentiel du CoM | Horizontal | Vertical |
| Chaînes musculaires | Flexion | Extension |
| Fonctionnement musculaire | Poussée (concentrique) | Rebond (pliométrique) |
| Modèle d'efficacité | Roue | Masse ressort |

Annexe 11 : Classification générale du niveau de preuve d'une étude³³.

| Niveau de preuve | Description |
|------------------|--|
| Fort | <ul style="list-style-type: none">- Le protocole est adapté pour répondre au mieux à la question posée ;- La réalisation est effectuée sans biais majeur ;- L'analyse statistique est adaptée aux objectifs ;- La puissance est suffisante. |
| Intermédiaire | <ul style="list-style-type: none">- Le protocole est adapté pour répondre au mieux à la question posée ;- Puissance nettement insuffisante (effectif insuffisant ou puissance a posteriori insuffisante) ;- Et/ou des anomalies mineures. |
| Faible | <ul style="list-style-type: none">- Autre types d'études. |

Annexe 12 : Grade des recommandations³³.

| Grade des recommandations | Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature |
|---|---|
| A Preuve scientifique établie | Niveau 1 <ul style="list-style-type: none">- Essais comparatifs randomisés de forte puissance- Méta-analyse d'essais comparatifs randomisés- Analyse de décision fondée sur des études bien menées. |
| B Présomption scientifique | Niveau 2 <ul style="list-style-type: none">- Essais comparatifs randomisés de faible puissance ;- Etudes comparatives non randomisées bien menées ;- Etudes de cohortes. |
| C Faible niveau de preuve scientifique | Niveau 3 <ul style="list-style-type: none">- Etudes cas-témoins. |
| | Niveau 4 <ul style="list-style-type: none">- Etudes comparatives comportant des biais importants ;- Etudes rétrospectives ;- Séries de cas ;- Etudes épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinales). |

Annexe 13 : Qualité méthodologique de cette revue par l'utilisation de la grille AMSTAR-2.

| <i>Items de l'échelle AMSTAR-2</i> | <u>Oui</u> | <u>Non</u> |
|---|-------------------|-------------------|
| 1- Est-ce que les questions de recherche et les critères d'inclusion de la revue ont inclus les critères PICO ? | X | |
| 2- Est-ce que le rapport de la revue contenait une déclaration explicite indiquant que la méthode de la revue a été établie avant de conduire la revue ? Est-ce que le rapport justifiait toute déviation significative par rapport au protocole ? | | X |
| 3- Les auteurs ont-ils expliqués leur choix de schémas d'étude à inclure dans la revue ? | X | |
| 4- Les auteurs ont-ils utilisés une stratégie documentaire exhaustive ? | X | |
| 5- Les auteurs ont-ils effectués en double la sélection des études ? | | X |
| 6- Les auteurs ont-ils effectués en double l'extraction des données ? | | X |
| 7- Les auteurs ont-ils fournis une liste des études exclues et justifié les exclusions ? | X | |
| 8- Les auteurs ont-ils décrit les études incluses de manière suffisamment détaillée ? | X | |
| 9- Les auteurs ont-ils utilisés une technique satisfaisante pour évaluer le risque de biais des études individuelles incluses dans la revue ? | X | |
| 10- Les auteurs ont-ils indiqué les sources de financement des études incluses dans la revue ? | | X |
| 11- Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils utilisé des méthodes appropriées pour la combinaison statistique des résultats ? | | X |
| 12- Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils évalué l'impact potentiel des risques de biais des études individuelles sur les résultats de la méta-analyse ou d'une autre synthèse des preuves ? | | X |
| 13- Les auteurs ont-ils pris en compte le risque de biais des études individuelles lors de l'interprétation/ de la discussion des résultats de la revue ? | X | |
| 14- Les auteurs ont-ils fourni une explication satisfaisante pour toute hétérogénéité observée dans les résultats de la revue, et une discussion sur celle-ci ? | X | |
| 15- S'ils ont réalisé une synthèse quantitative, les auteurs ont-ils mené une évaluation adéquate des biais de publication (biais de petite étude) et ont discuté de son impact probable sur les résultats de la revue ? | | X |
| 16- Les auteurs ont-ils rapporté toute source potentielle de conflit d'intérêts, y compris tout financement reçu pour réaliser la revue ? | X | |

Résumé

Introduction : L'entorse de cheville étant le premier des traumatismes en France. Elle possède un taux de récurrence élevé dans 70% des cas, avec un risque de développer une incapacité physique résiduelle pouvant être associée au développement d'une instabilité chronique de la cheville. La littérature met en avant que le contrôle postural dynamique aurait diminué suite à une première entorse de cheville et aurait alors toute son importance chez les patients présentant une instabilité chronique de cheville. La pliométrie qui est une méthode de renforcement à base de saut, est indiquée dans la prévention des blessures du membre inférieur. Celle-ci alliant l'équilibre dynamique, force, vitesse, stabilité et mobilité ; pourrait permettre d'améliorer le contrôle postural dynamique et d'autres symptômes de l'instabilité chronique de cheville.

Objectif : L'objectif de cette revue est d'étudier l'efficacité de la réalisation d'exercices pliométriques sur le contrôle postural dynamique des patients présentant une instabilité chronique de cheville.

Méthode : Les recherches scientifiques ont été réalisées sur cinq bases de données scientifiques. Les études sélectionnées devaient de préférence être des essais cliniques contrôlés randomisés. Les populations incluses devaient être des personnes présentant une instabilité chronique de cheville. L'intervention devait être la pratique d'exercice pliométrique. Les études devaient dans un premier temps étudier l'impact de cette méthode de renforcement sur le contrôle postural dynamique des patients. Les études étaient exclues si elles ne comprenaient pas ces critères-là.

Résultats : Cette stratégie de recherche nous a permis de sélectionner cinq études pour la réalisation de cette revue de littérature. Néanmoins, la pratique d'exercice pliométrique semble mettre en évidence des résultats convergents vers une amélioration du contrôle postural dynamique, ainsi que sur l'activité musculaire des muscles stabilisateurs de cheville malgré que les résultats ne soient pas statistiquement significatifs. Concernant l'amplitude de mouvement articulaire maximale de la cheville les résultats obtenus ne nous permettent pas de réaliser une interprétation précise.

Discussion : La pliométrie induisant a priori une amélioration de la condition des patients concernant le contrôle postural dynamique et l'activation musculaire des muscles stabilisateurs de cheville, représente une piste encourageante pour son utilisation auprès des patients présentant une instabilité chronique de cheville. Cependant, il existe un manque de preuve causé par l'utilisation plutôt récente de la pliométrie, par l'hétérogénéité des études, et la faible taille des échantillons que présente ces études. Par conséquent d'autres études sont nécessaires afin de pouvoir affirmer que la pliométrie représente un réel atout dans la prise en charge des patients présentant une instabilité chronique de cheville.

Mots clés : instabilité chronique de cheville, pliométrie, contrôle postural dynamique, contrôle neuromusculaire, activité musculaire, cinématique, rééducation

Abstract

Introduction: The ankle sprain being the first trauma in France. It has a high recidivism rate in 70% of cases, with a risk of developing a residual physical disability that may be associated with the long-term of chronic ankle instability. The literature points out that dynamic postural control would have decreased following a first ankle sprain and would then have its full importance in patients with chronic ankle instability. Plyometrics is a jump-based reinforcement method, is indicated in the prevention of lower limb injuries. This combines dynamic balance, strength, speed, stability, and mobility; could improve dynamic postural control and other symptoms of chronic ankle instability.

Objectives: The objective of this review is to study the effectiveness of performing plyometrics exercises on the dynamic postural control of patients that suffer chronic ankle instability.

Method: Scientific research was conducted on five scientific databases. The selected studies should preferably be randomized controlled clinical trials. Included populations were to be individuals with chronic ankle instability. The intervention was to be the practice of plyometric exercise. The studies were initiated to study the impact of this reinforcement method on the dynamic postural control of patients. Studies were excluded if they did not include those criteria.

Results: This research strategy allowed us to select five studies for this literature review. Nevertheless, the practice of plyometric exercise seems to highlight results converging towards an improvement in dynamic postural control, as well as the muscle activity of the ankle stabilizers despite the fact that the results are not statistically significant nor conclusive. Concerning the maximum range of joint movement of the ankle the results obtained do not allow us to carry out an accurate final interpretation.

Discussion: The plyometric inducing a priori an improvement in the condition of patients regarding the dynamic postural control and muscle activation of the ankle stabilizers muscles, represents an encouraging lead for its use in patients with chronic ankle instability. However, there is a lack of evidence due to the relatively recent use of plyometrics, the heterogeneity of the studies, and the small sample sizes presented in these studies. Therefore, further studies are necessary to be able to assert that plyometrics is a real asset in the management of patients with chronic ankle instability.

Keys words : chronic ankle instability, plyometrics, dynamic postural control, neuromuscular control, muscle activity, kinematics, rehabilitation