

<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>

Institut des Sciences et Techniques de Réadaptation
Département Masso-Kinésithérapie

Mémoire N° 1567

Mémoire d'initiation à la recherche en Masso-Kinésithérapie
Présenté pour l'obtention du

Diplôme d'Etat en Masso-Kinésithérapie

par

Millières-Lacroix Justine

**Effets du renforcement de la musculature
intrinsèque du pied : intérêt curatif et préventif pour
les pathologies micro-traumatiques du pied**

Revue de la littérature

**Effects of strengthening the intrinsic foot musculature : curative
and preventive interest for the prevention of overuse injuries
A review of the literature**

Directeur de mémoire
Grand Jean-Michel

**2018-2019
Session 1**

Membres du jury

Grand Jean-Michel

Cheze Laurence

Goutali Feyza

CHARTRE ANTI-PLAGIAT DE LA DRDJSCS AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

La Direction Régionale et Départementale de la Jeunesse, des Sports et de la Cohésion Sociale délivre sous l'autorité du préfet de région les diplômes paramédicaux et du travail social.

C'est dans le but de garantir la valeur des diplômes qu'elle délivre et la qualité des dispositifs de formation qu'elle évalue, que les directives suivantes sont formulées.

Elles concernent l'ensemble des candidats devant fournir un travail écrit dans le cadre de l'obtention d'un diplôme d'État, qu'il s'agisse de formation initiale ou de parcours VAE.

La présente charte définit les règles à respecter par tout candidat, dans l'ensemble des écrits servant de support aux épreuves de certification du diplôme préparé (mémoire, travail de fin d'études, livret2).

Il est rappelé que « le plagiat consiste à reproduire un texte, une partie d'un texte, toute production littéraire ou graphique, ou des idées originales d'un auteur, sans lui en reconnaître la paternité, par des guillemets appropriés et par une indication bibliographique convenable »¹.

La contrefaçon (le plagiat est, en droit, une contrefaçon) **est un délit** au sens des articles L. 335-2 et L. 335-3 du code de la propriété intellectuelle.

Article 1 :

Le candidat au diplôme s'engage à encadrer par des guillemets tout texte ou partie de texte emprunté ; et à faire figurer explicitement dans l'ensemble de ses travaux les références des sources de cet emprunt. Ce référencement doit permettre au lecteur et correcteur de vérifier l'exactitude des informations rapportées par consultation des sources utilisées.

Article 2 :

Le plagiaire s'expose à des procédures disciplinaires. De plus, en application du Code de l'éducation² et du Code de la propriété intellectuelle³, il s'expose également à des poursuites et peines pénales.

Article 3 :

Tout candidat s'engage à faire figurer et à signer sur chacun de ses travaux, deuxième de couverture, cette charte dûment signée qui vaut engagement :

Je soussigné(e) Millies-Lacroix Justine

atteste avoir pris connaissance de la charte anti-plagiat élaborée par la DRDJSCS Auvergne-Rhône-Alpes et de m'y être conformé(e)

Je certifie avoir rédigé personnellement le contenu du livret/mémoire fourni en vue de l'obtention du diplôme suivant : Diplôme d'Etat de Masseur-Kinésithérapeute

Fait à Lyon Le 30 avril 2019 Signature



Zér  **Plagiat**

¹ Site Université de Nantes : <http://www.univ-nantes.fr/statuts-et-chartes-usagers/dossier-plagiat-784821.kjsp>

² Article L331-3 : « les fraudes commises dans les examens et les concours publics qui ont pour objet l'acquisition d'un diplôme délivré par l'Etat sont réprimées dans les conditions fixées par la loi du 23 décembre 1901 réprimant les fraudes dans les examens et concours publics »

³ Article L122-4 du Code de la propriété intellectuelle

Mémoire N° 1567

Mémoire d'initiation à la recherche en Masso-Kinésithérapie

Présenté pour l'obtention du

Diplôme d'Etat en Masso-Kinésithérapie

par

Millières-Lacroix Justine

**Effets du renforcement de la musculature
intrinsèque du pied : intérêt curatif et préventif pour
les pathologies micro-traumatiques du pied**

Revue de la littérature

**Effects of strengthening the intrinsic foot musculature : curative
and preventive interest for the prevention of overuse injuries**

A review of the literature

Directeur de mémoire

Grand Jean-Michel

2018-2019

Session 1

Membres du jury

Grand Jean-Michel

Cheze Laurence

Goutali Feyza



Université Claude Bernard



Lyon 1

Président
Frédéric FLEURY

Vice-président CA
REVEL Didier

Secteur Santé

U.F.R. de Médecine Lyon Est
Directeur
RODE Gilles

U.F.R d'Odontologie
Directeur
BOURGEOIS Denis

U.F.R de Médecine Lyon-Sud
Charles Mérieux
Directrice
BURILLON Carole

Institut des Sciences Pharmaceutiques
et Biologiques
Directrice
VINCIGUERRA Christine

Département de Formation et Centre de
Recherche en Biologie
Humaine
Directeur
SCHOTT Anne-Marie

Institut des Sciences et Techniques de
Réadaptation
Directeur
PERROT Xavier

Comité de Coordination des
Etudes Médicales (CEM)
COCHAT Pierre



Institut Sciences et Techniques de Réadaptation

Département MASSO-KINESITHERAPIE

Directeur ISTR
Xavier PERROT

Equipe de direction du département de masso-kinésithérapie :

Directeur de la formation
Franck GREGOIRE

Responsables des travaux de recherche
Samir BOUDRAHEM

Référents d'années
Geneviève SANSONI
Ilona BESANCON
Dominique DALLEVET
Samir BOUDRAHEM

Référents stages cycle 1
Annie KERN-PAQUIER

Référents stages cycle 2
Franck GREGOIRE

Secrétariat de direction et de scolarité
Pascale SACCUCI

Remerciements

Je tiens à présenter mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont aidée de près ou de loin dans la réalisation de ce mémoire :

M. Jean-Michel Grand, mon directeur de mémoire, pour son accompagnement et le temps qu'il m'a consacré.

Mme Marion Crouzier, pour sa patience et ses précieux conseils.

Messieurs et Mesdames du jury de me faire l'honneur de leur présence à ma soutenance.

L'Institut des Sciences et Techniques de Réadaptation et l'équipe pédagogique de l'Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie de Lyon pour ces quatre années d'enseignement.

Aux professionnels de santé qui m'ont accompagnée et transmis leurs savoirs avec passion et bienveillance au cours de multiples stages.

Aux patients qui m'ont accordé leur confiance et m'ont fait aimer la profession de kiné.

A ma famille et mes amis pour leur soutien sans faille.

Table des matières

1. INTRODUCTION	1
1.1. DESCRIPTION ANATOMIQUE DU SYSTEME SURO-ACHILLEO-CALCANEOP-LANTAIRE.....	1
1.1.1. Structures passives du système	1
1.1.2. Structures actives du système.....	3
1.1.3. Particularités de la voûte plantaire	6
1.1.4. Foot core system.....	8
1.2. ROLE AMORTISSEUR DU PIED.....	8
1.3. DIFFERENTES PATHOLOGIES MICRO-TRAUMATIQUES	10
1.3.1. Fractures de fatigue.....	10
1.3.2. Périostites	11
1.3.3. Tendinopathies	11
1.3.4. Fasciite plantaire	11
1.4. FACTEURS DE RISQUE DES PATHOLOGIES MICRO-TRAUMATIQUES	12
1.4.1. Facteurs de risque intrinsèques	12
1.4.2. Facteurs de risque extrinsèques.....	12
1.5. POSTURE DU PIED ET PATHOLOGIES MICRO-TRAUMATIQUES.....	12
1.6. RECOMMANDATIONS.....	14
1.7. POPULATION ATTEINTE	14
1.8. HYPOTHESE, INTERET ET OBJECTIFS DE LA REVUE	15
1.8.1. Hypothèse théorique.....	15
1.8.2. Intérêt de la revue.....	15
1.8.3. Objectifs et problématique	16
2. METHODE.....	16
2.1. CRITERES D'ELIGIBILITE DES ETUDES POUR CETTE REVUE.....	16
2.1.1. Types d'études	16
2.1.2. Population.....	17
2.1.3. Intervention	18
2.1.4. Critères de jugement.....	21
2.2. METHODOLOGIE DE RECHERCHE DES ETUDES	23
2.2.1. Sources documentaires investiguées.....	23
2.2.2. Equation de recherche	23
2.3. EXTRACTION ET ANALYSE DES DONNEES	24
2.3.1. Sélection des études.....	24
2.3.2. Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées.....	24
2.3.3. Méthode de synthèses des résultats.....	25

3.	RESULTATS	25
3.1.	DESCRIPTION DES ETUDES.....	25
3.1.1.	<i>Diagramme de flux</i>	25
3.1.2.	<i>Etudes exclues.....</i>	25
3.1.3.	<i>Etudes inclues</i>	27
3.2.	DESCRIPTION DES MOYENS DE MESURE DE RESULTATS.....	32
3.2.1.	<i>Mesure des résultats pour le critère de jugement principal : position de l’arche médiale longitudinale.....</i>	32
3.2.2.	<i>Mesure des résultats pour le critère de jugement secondaire : force musculaire.....</i>	34
3.2.3.	<i>Mesure des résultats pour le critère de jugement secondaire : performance.....</i>	35
3.3.	EFFETS DE L’INTERVENTION SUR LE CRITERE DE JUGEMENT PRINCIPAL : POSITION DE L’ARCHE MEDIALE LONGITUDINALE	37
3.3.1.	<i>Short-foot exercise</i>	37
3.3.2.	<i>Autres exercices de renforcement</i>	39
3.3.3.	<i>Electrostimulation neuromusculaire.....</i>	39
3.4.	EFFETS DE L’INTERVENTION SUR LE CRITERE DE JUGEMENT SECONDAIRE : FORCE MUSCULAIRE	41
3.4.1.	<i>Short-foot exercise.....</i>	41
3.4.2.	<i>Autres exercices de renforcement</i>	42
3.4.3.	<i>Electrostimulation neuromusculaire.....</i>	43
3.5.	EFFETS DE L’INTERVENTION SUR LE CRITERE DE JUGEMENT SECONDAIRE : PERFORMANCE	43
3.5.1.	<i>Short-foot exercise.....</i>	43
3.5.2.	<i>Autres exercices de renforcement</i>	44
3.5.3.	<i>Electrostimulation neuromusculaire.....</i>	45
4.	DISCUSSION.....	46
4.1.	ANALYSE DES PRINCIPAUX RESULTATS.....	46
4.2.	APPLICABILITE DES RESULTATS EN PRATIQUE CLINIQUE.....	56
4.3.	SYNTHESE DES BIAIS RETROUVES DANS LES ETUDES	57
4.4.	QUALITE DES PREUVES	58
4.5.	BIAIS POTENTIELS DE LA REVUE	59
5.	CONCLUSION	60

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

Table des matières figures

Figure 1 : Arche médiale longitudinale du pied	2
Figure 2 : Relation et continuité du système suro-achilléo-calcanéo-plantaire.....	3
Figure 3 : Musculature extrinsèque de la jambe et du pied	4
Figure 4 : Musculature intrinsèque du pied	6
Figure 5 : Forces s'exerçant sur la voûte plantaire	7
Figure 6 : Architecture de la voûte plantaire	7
Figure 7 : The Foot Core System	8
Figure 8 : Short-foot exercise	18
Figure 9 : Toe-curl exercise	19
Figure 10 : Toe-spread-out exercise	19
Figure 11 : Hallux-extension exercise	19
Figure 12 : Lesser-toe-extension exercise	20
Figure 13 : Vele's Forward Lean exercise.....	20
Figure 14 : Reverse Tandem Gait exercise	20
Figure 15 : Nombre et types d'études inclues	28
Figure 16 : Nombre d'articles inclus selon la date de publication	28
Figure 17 : Proportion Homme/Femme des études.....	29
Figure 18 : Proportion de patients sains, sportifs et avec pieds plats	29
Figure 19 : Nombre d'études selon le nombre de patients	30
Figure 20 : Nombre d'articles selon le type d'exercice/renforcement.....	30
Figure 21 : Nombre d'articles répondant aux critères de jugement.....	31
Figure 22 : Répartition des études selon leur niveau de preuve	31

Table des matières tableaux

Tableau I : Muscles jouant un rôle actif dans le maintien de la voûte plantaire.....	5
Tableau II : Tableau des grades de recommandations	17

Glossaire

AHI : Arch Height Index (Indice de Hauteur de l'Arche)

CSA : Cross-Sectional Area (Surface de section transversale)

FMS : Functional Movement Screen

FPI-6 : Foot Posture Index (6 items)

HAS : Haute Autorité de Santé

IFMT : Intrinsic Foot Muscle Test

IRM : Imagerie par Résonance Médicale

MLA : Medial Longitudinal Arch (arche médiale longitudinale)

MVIC : Maximum Voluntary Isometric Contraction

NMES : Neuromuscular electrostimulation

ND : Navicular Drop

NDT : Navicular Drop Test

SEBT : Star Excursion Balance Test

SFE : Short-foot exercise

TCE : Toe-curl exercise

TSOE : Toe-Spread-Out Exercise

US : Ultra-Sons

Résumé

Contexte : Les muscles intrinsèques du pied jouent un rôle prépondérant dans le soutien de l'arche médiale longitudinale et participent à son intégrité. Une dysfonction ou une faiblesse de ces muscles diminue la résistance du système aux contraintes mécaniques qui s'y exercent ; le pied et ses structures peuvent ainsi être sur-sollicités, laissant apparaître des pathologies micro-traumatiques.

Objectif : Evaluer les effets du renforcement de la musculature intrinsèque du pied par rapport à la posture, la force et la performance, ainsi que mettre en évidence l'intérêt préventif ou curatif d'une telle intervention dans le cadre de la rééducation des patients atteints de pathologies micro-traumatiques.

Méthode : Les bases de données PubMed, Google Scholar et LISSa ont été investiguées ; 13 articles ont été retenus et analysés à l'aide de la grille d'évaluation PEDro pour les essais cliniques randomisés, et de fiches de lecture.

Résultats : Il est difficile d'évaluer l'efficacité du renforcement des muscles intrinsèques compte tenu de la diversité des interventions investiguées et des mesures utilisées. Les résultats sont dépendants du type d'exercice, de la position dans laquelle est réalisée l'exercice et le nombre de séance par semaine. Le Short-foot exercise semble être l'exercice recrutant le mieux la musculature intrinsèque, qui plus est en position debout sur un pied, ou au cours d'une activité fonctionnelle dynamique.

Conclusion : Le renforcement de la musculature intrinsèque du pied par le biais d'exercices ou d'électrostimulation neuromusculaire semble avoir des effets significatifs sur le support statique et dynamique de l'arche médiale longitudinale, mis en évidence par la correction de la posture de l'arche, l'augmentation de la force musculaire et l'amélioration de la performance. Ces résultats pourraient avoir un intérêt pour le traitement ou la prévention des pathologies micro-traumatiques. Toutefois, des recherches complémentaires devraient être menées sur une population spécifique de patients présentant ces pathologies pour affirmer cette hypothèse.

Mots-clefs : électrostimulation, exercices de raccourcissement du pied, kinésithérapie, muscles intrinsèques du pied, pathologie micro-traumatique, prévention, renforcement, traitement

Abstract

Context : The intrinsic foot muscles play a preponderant role in the support of the medial longitudinal arch and contribute to its integrity. A dysfunction or weakness reduces the system's resistance against the mechanical stress ; the overload applied on the foot and its structures can lead to the development of overuse injuries.

Objective : To evaluate the effects of strengthening the intrinsic foot muscles regarding the foot posture, the strength and the performance, and to highlight the preventive or curative interest of that intervention in the rehabilitation of patients with overuse injuries.

Method : The PubMed, Google Scholar and LISSa databases were investigated ; 13 articles were selected and analysed using the PEDro score for randomised controlled trial, or reading grid.

Results : It is difficult to evaluate the effectiveness of strengthening the intrinsic foot muscles given the diversity of the interventions investigated and the measures used. The results depend on the type of exercise, the position in which the exercise is performed and the number of sessions per week. Short-foot exercise seems to be the exercise that best recruits the intrinsic musculature, moreover when standing on one foot or during a dynamic functional activity.

Conclusion : The strengthening of intrinsic musculature of the foot through exercises or neuromuscular electrostimulation seems to have significant effects on the static and dynamic support of the medial longitudinal arch, highlighted by the correction of the arch posture, increased muscle strength and improved performance. These results could be of interest for the treatment or prevention of overuse injuries. However, further research should be directed on a specific population of patients with these conditions to support the hypothesis.

Key words : NMES, short-foot exercise, physiotherapy, intrinsic foot muscles, overuse injury, prevention strengthening, treatment

1. Introduction

Pratiquer une activité physique implique une sollicitation conséquente du corps humain et notamment du pied, qui doit s'adapter pour subir des contraintes mécaniques et assurer les fonctions de locomotion et d'équilibre. Le développement des pratiques sportives implique l'augmentation de l'apparition de pathologies micro-traumatiques qu'il convient d'étudier afin de les prévenir ou de les guérir.

Afin d'appréhender au mieux le sujet qui va suivre, il est nécessaire d'étudier le système suro-achilléo-calcanéo-plantaire et les structures anatomiques en son sein.

1.1. Description anatomique du système suro-achilléo-calcanéo-plantaire

1.1.1. Structures passives du système

La structure squelettique du système suro-achilléo-calcanéo-plantaire comprend les os de la jambe que sont le tibia et la fibula, et se prolonge par les os du pied que l'on peut diviser en sous-entités que sont le tarse, le métatarse et l'avant pied. Ces structures passives sont à l'origine de la forme du pied et de la voûte plantaire.

Il est intéressant d'étudier les arches du pied résultant de l'alignement des os du pied. Selon Kapandji, l'architecture du pied est représentée par une voûte composée de trois arches : deux longitudinales, que sont l'arche interne et l'arche externe, et une transversale qui est l'arche antérieure. (Annexe 1) (Drake et al., 2018) (Kapandji & Judet, 2009)

La première arche longitudinale est l'arche interne, également appelée arche médiale longitudinale (MLA : medial longitudinal arch), et composée d'avant en arrière : du premier métatarsien, du premier cunéiforme, de l'os naviculaire, du talus puis du calcanéum. L'os naviculaire est particulièrement important puisqu'il est la clef de voûte de cette arche et est investigué au cours de cette étude. (Figure 1) (Drake et al., 2018)

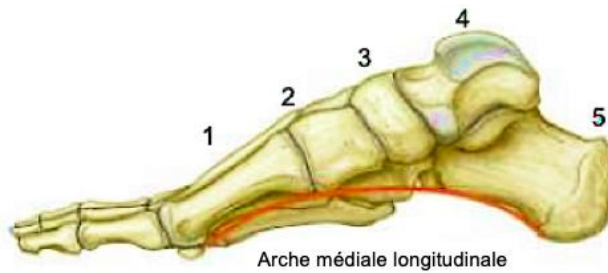


Figure 1 : Arche médiale longitudinale du pied 1) 1er métatarsien 2) 1er cunéiforme 3) Naviculaire 4) Talus 5) Calcanéum

Le calcanéum quant à lui est l'os le plus volumineux du tarse autour duquel s'articulent les éléments de la jambe et du pied. Situé à la partie inférieure et postérieure du pied, cet os sésamoïde s'articule avec le talus en haut et avec le cuboïde en avant. Il est comparable à une poulie en biomécanique puisqu'il est l'élément de transition du triceps sural et de la voûte plantaire. (Kamina & Martinet, 2009)

Cette arche interne est maintenue par d'autres éléments passifs que sont les ligaments plantaires, et principalement les ligaments calcanéo-naviculaire inférieur et talo-calcanéen. (Annexe 1) (Kapandji & Judet, 2009)

La seconde arche longitudinale est l'arche externe qui ne comprend quant à elle que le cinquième métatarsien, l'os cuboïde et le calcanéum. Cette arche est beaucoup moins mobile et moins haute que l'arche interne, son objectif étant la transmission de l'impulsion motrice du triceps plus que la mobilité du pied. Kapandji explique la rigidité de cette arche par la présence du ligament calcanéo-cuboïdo-métatarsien plantaire. (Annexe 1) (Kapandji & Judet, 2009)

L'arche transversale quant à elle est l'arche antérieure localisée entre la tête du premier métatarsien et celle du dernier, en passant par la tête des autres métatarsiens et se prolongeant en arrière par la concavité des cunéiformes. (Annexe 1) (Kapandji & Judet, 2009)

Enfin le dernier élément passif est l'aponévrose plantaire, qu'il est presque possible de qualifier d'élément activo-passif puisqu'elle fait le lien entre les structures passives et actives du système. L'étude de Fuller décrit le « windlass mechanism » au sein duquel l'aponévrose plantaire joue un rôle primordial pour le maintien des arches plantaires. En effet, elle n'a pas pour unique fonction le support rigide de l'arche,

puisqu'elle participe à l'absorption des contraintes, ainsi qu'à la restitution de l'énergie nécessaire à la propulsion. (Figure 2) (Fraser, Feger, & Hertel, 2016) (Fuller, 2000; McKeon & Fourchet, 2015)

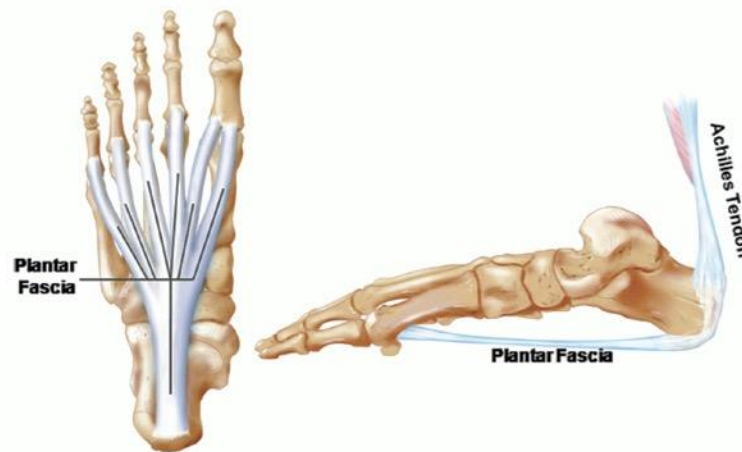


Figure 2 : Relation et continuité du système suro-achilléo-calcanéo-plantaire

1.1.2. Structures actives du système

Ces structures passives sont mobilisées par un système dynamique composé des muscles extrinsèques et des muscles intrinsèques.

- *Muscles extrinsèques*

Les muscles extrinsèques sont les moteurs du mouvement du pied. Ils sont décrits selon leur localisation anatomique dans la jambe. Les releveurs du pied ou fléchisseurs dorsaux sont situés dans la loge antérieure de la jambe et prennent insertion sur la face dorsale du pied. Ils comprennent : le muscle tibial antérieur (TA), le long extenseur de l'hallux (LEH), le long extenseur des orteils (LEO). Dans la loge latérale de la jambe s'insèrent les muscles long et court fibulaire (LF et CF). Enfin dans la loge postérieure les muscles tibial postérieur (TP), long fléchisseur de l'hallux (LFH) et long fléchisseur des orteils (LFO) sont recouverts par le triceps sural (TS). (Figure 3) (Dufour & Gillot, 2015)

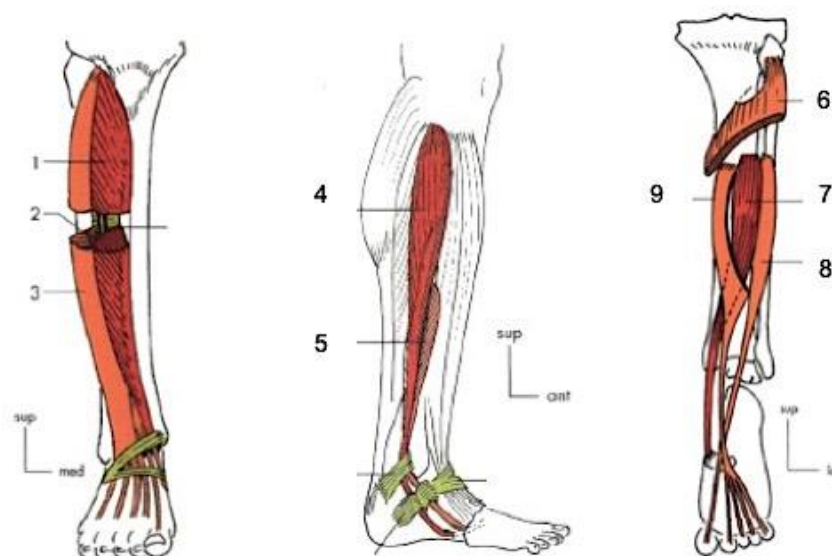


Figure 3 : Musculature extrinsèque de la jambe et du pied 1) m. Tibial antérieur 2) m. Long extenseur de l'hallux 3) m. Long extenseur des orteils 4) m. Long fibulaire 5) m. Court fibulaire 6) m. Soléaire 7) m. Tibial postérieur 8) m. Long fléchisseur de l'hallux 9) m. Long fléchisseur des orteils

Ces muscles ne sont pas seulement les moteurs du mouvement puisqu'ils participent au soutien de la voûte plantaire et à la stabilité du pied. En effet, ils aident les muscles intrinsèques au maintien des arches plantaires grâce à leurs trajets et leurs insertions anatomiques. Les muscles extrinsèques qui participent notamment à la forme de cette voûte sont les muscles tibial postérieur, long fibulaire, long fléchisseur commun des orteils et long fléchisseur de l'hallux.

Il est important de ne pas oublier au sein de ce système le muscle triceps sural, situé dans la loge postérieure de la jambe, qui est un des muscles les plus puissants du corps humain et qui joue un rôle essentiel dans le maintien de la station debout, la marche, ainsi que les activités supérieures de marche telles que la course ou encore le saut. Il est composé comme son nom l'indique de trois chefs musculaires ; les gastrocnémiens (ou jumeaux) qui fonctionnent en binôme et rejoignent le soléaire en un tendon commun qu'est le tendon achilléen. (Kamina & Martinet, 2009; Kapandji & Judet, 2009)

Le tendon d'Achille est le tendon commun des corps musculaires décrits ci-dessus, réunissant les lames tendineuses de l'aponévrose gastrocnémienne et de l'aponévrose du soléaire, et se terminant sur la tubérosité du calcaneum (figure 1). Ses fibres superficielles se prolongent et rejoignent l'aponévrose plantaire superficielle. Des bourses séreuses, structures remplies de liquide synovial situées en regard des

articulations et facilitant les mouvements, sont présentes de part et d'autre du tendon. (Chanussot, Danowski, & Rodineau, 2012; Kamina & Martinet, 2009; Kapandji & Judet, 2009)

- *Muscles intrinsèques*

Ils jouent un rôle primordial dans la stabilisation du pied. Le court extenseur des orteils et le court extenseur de l'hallux se localisent dans la loge dorsale du pied et ne présentent qu'un faible intérêt dans cette revue. En revanche les muscles de la loge médiale avec l'abducteur de l'hallux (Abd I), l'adducteur de l'hallux (Add I) et le court fléchisseur de l'hallux (CF I), ou encore ceux de la loge latérale avec l'abducteur du 5^{ème} orteil (Abd V), le court fléchisseur du 5^{ème} orteil (CF V) ou bien encore l'opposant du 5^{ème} métatarsien (Opp V) sont des muscles notables participants au contrôle actif du pied dans la posture. De même, les muscles de la loge médiane sont à citer : le court fléchisseur des orteils (CFO), le carré plantaire (CP), les interosseux du pied (IOP), l'adducteur oblique de l'hallux (Add oblique I), l'adducteur transverse de l'hallux (Add transverse du I) et les lombricaux. (Tableau I) (Figure 4) (Dufour & Gillot, 2015) L'ensemble de ces muscles sont répartis selon 4 couches musculaires de l'aponévrose plantaire jusqu'à la structure osseuse. (Annexe I) (Dufour & Gillot, 2015) En plus de jouer un rôle dans le contrôle de l'arche plantaire, il apparaît que ces muscles permettent également la transmission de l'information sensori-motrice et agissent comme des détecteurs de la position du pied. (Kelly, Cresswell, Racinais, Whiteley, & Lichtwark, 2014; McKeon & Fourchet, 2015)

Tableau I : Muscles jouant un rôle actif dans le maintien de la voûte plantaire

	Muscles intrinsèques	Muscles extrinsèques
Arche interne	-Abducteur de l'hallux (Abd I)	-Tibial postérieur (TP) -Long fibulaire (LF) -Long fléchisseur de l'hallux (LFH) -Long fléchisseur des orteils (LFO)
Arche externe	-Abducteur du 5 ^{ème} orteil (Abd V)	-Court fibulaire (CF) -Long fibulaire (LF)
Arche antérieure	-Adducteur de l'hallux (Add I) -Abducteur du 5 ^{ème} orteil (Abd V) -Court fléchisseur plantaire	-Long fibulaire (LF) -Tibial postérieur (TP) par ses expansions plantaires -Long fléchisseur de l'hallux (LFI) -Long fléchisseur des orteils (LFO)

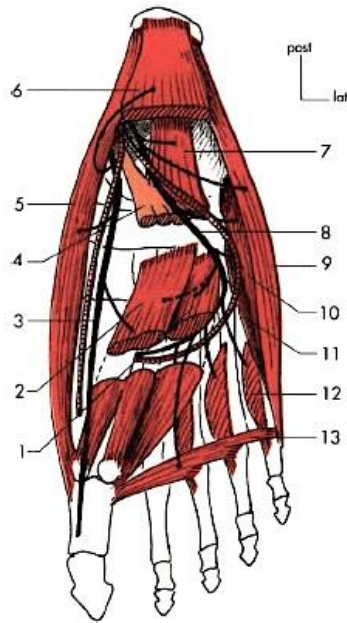


Figure 4 : Musculature intrinsèque du pied 1) m. Adducteur oblique de l'hallux 2) m. Court fléchisseur de l'hallux 4) m. Long fléchisseur des orteils (extrinsèque) 5) m. Abducteur de l'hallux 6) m. Court fléchisseur des orteils 7) m. Carré plantaire 9) m. Abducteur du 5^{ème} orteil 10) m. Court fléchisseur du 5^{ème} orteil 11) m. Opposant du 5^{ème} orteil 12) m. Interosseux du pied 13) m. Adducteur transverse de l'hallux

1.1.3. Particularités de la voûte plantaire

La voûte plantaire est pour le pied ce que la paume est à la main. Toutefois à la différence de la main, elle supporte l'ensemble du poids du corps lors de la station debout, mais également au cours des activités supérieures de marche. Elle sert d'interface avec le sol et s'adapte aux variations de terrain. Elle est donc susceptible de subir de grandes contraintes lorsqu'elle est sur ou mal sollicitée.

Suite à la description précédente, l'architecture du pied est représentée par une voûte composée de trois arches. L'ensemble est soutenu par une clef de voûte, et trois points d'appui au sol. De Doncker et Kowalski présentent une structure légèrement différente de Kapandji, puisqu'ils décrivent une charpente composée de deux arbalétriers soutendus par les ligaments, l'aponévrose plantaire et les muscles plantaires qui évitent l'écrasement de la charpente de par leur traction à la base. Cette deuxième description permet de mieux comprendre le maintien de la voûte plantaire par le système musculo-ligamentaire. (Kapandji & Judet, 2009) De plus, il est à noter que la voûte plantaire et par extension le pied, supporte à la fois la force appliquée par le corps résultant de la gravité, mais également les forces de réaction du sol, et doit composer avec ces

contraintes pour assurer à la fois la stabilité, la mobilité et la capacité de propulsion du pied. (Figure 5) (Fuller, 2000)

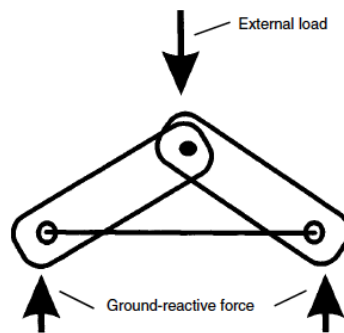


Figure 5 : Forces s'exerçant sur la voûte plantaire (gravité et forces de réaction du sol)

Ainsi, le pied est le résultat d'un équilibre architectural formant un triangle (Figure 6) (Kapandji & Judet, 2009), dont la base est sous-tendue par les muscles et ligaments plantaires, et dont les autres côtés comportent respectivement à la partie antérieure les muscles fléchisseurs de la cheville et extenseurs des orteils, et à la partie postérieure les extenseurs de la cheville et fléchisseurs des orteils. Lorsque l'un des trois côtés est déséquilibré, soit par excès de traction, soit par faiblesse, il est sujet à des contraintes plus importantes et pouvant être à l'origine de pathologies. Le pied creux présente un déséquilibre puisque la voûte plantaire est exagérée ; les muscles plantaires sont contracturés ou les ligaments rétractés, l'ensemble conduisant à une déformation du pied. Le pied plat est également à l'origine d'un déséquilibre, mais les muscles plantaires sont au contraire affaiblis, et le système ligamentaire distendu. La voûte plantaire s'effondre et le pied s'écrase sur le sol, laissant apparaître une empreinte plantaire élargie. (Kapandji & Judet, 2009)

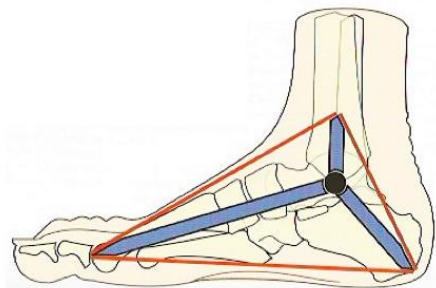


Figure 6 : Architecture de la voûte plantaire

1.1.4. Foot core system

Suite à ces descriptions morphologiques, il apparaît que les structures fibromusculaires sont continues entre la jambe et le pied. McKeon et Fourchet ont introduit le concept de « Foot Core System » (littéralement système de base du pied) expliquant les interactions entre ces structures actives et passives et le système neural qui les complète. (Figure 7) (McKeon & Fourchet, 2015) En effet le contrôle dynamique du pied n'est possible que si les éléments anatomiques actifs et passifs détaillés précédemment sont fonctionnels et en présence d'un système neurologique efficace. Ce système neurologique intègre les informations sensorielles transmises par les récepteurs des structures passives locales tels que les ligaments ou encore les capsules articulaires, mais également celles des récepteurs des muscles intrinsèques. (McKeon & Fourchet, 2015)

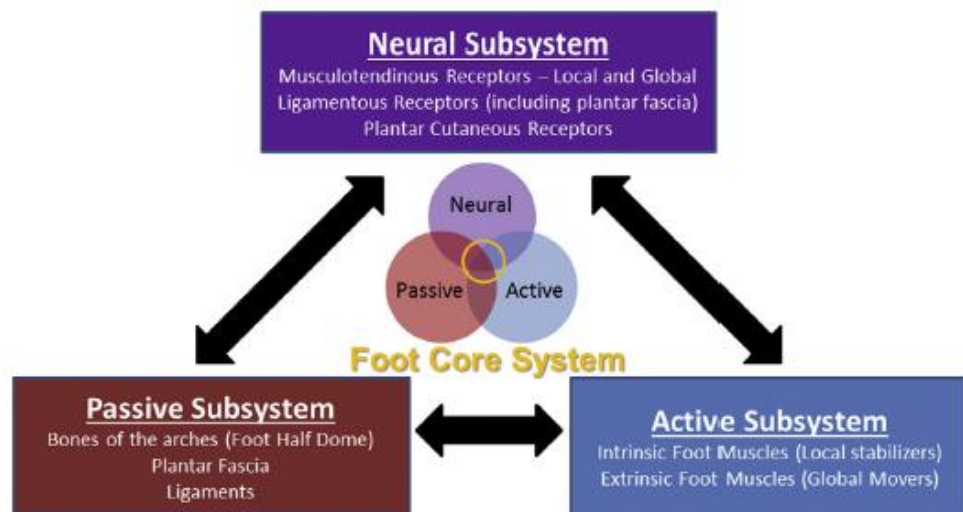


Figure 7 : The Foot Core System

1.2. Rôle amortisseur du pied

Le rôle du pied est d'abord de soutenir le poids du corps, puis de permettre la locomotion via la marche ou la course. Pour cela, il doit pouvoir amortir les contraintes qui s'exercent au cours de ces activités. Il est facile de comprendre ce rôle amortisseur du pied suite à ces descriptions anato-morphologiques.

Lors de la station debout, seules les structures passives et notamment les squelettes osseux et fibreux (ligaments et aponévrose plantaire) absorbent les contraintes grâce

à leur architecture en arche décrite précédemment. De plus, les tissus mous sous-jacents à la voûte plantaire, dont le tissu graisseux et la peau, supportent également ces contraintes. Les muscles intrinsèques ne présentent pas d'activité mais agissent de manière passive en accompagnant les structures ligamentaires, de par leur tonus de repos qui permet une certaine tension et un maintien supplémentaire de la voûte. (Klein, Sommerfeld, & Meddeb, 2008; Kowalski, 2012)

A la marche, s'ajoutent les systèmes musculaires intrinsèque et extrinsèque qui permettent un contrôle dynamique. Lors de la prise de contact avec le sol, la cheville est en légère flexion, le talon est le point d'appui du pied sur lequel vient s'appliquer la poussée de la jambe, suivie par le reste du pied qui se déroule sur le sol ; les tissus peaucier et graisseux absorbent les premières contraintes, suivi par le calcaneum qui agit comme un pivot et répartit les pressions sur le pied lors de son déroulement. Les structures passives entrent alors en jeu ; la membrane interosseuse de la jambe, les ligaments et le mouvement de divergence du talus et du calcanéum limitent ces contraintes. (Annexe 1) (Kapandji & Judet, 2009) Le muscle tibial antérieur intervient par la suite afin de freiner la chute de l'avant-pied sur le sol. Lorsque l'avant-pied touche le sol et que le poids du corps est déporté vers l'avant, la voûte plantaire s'écrase. Il y a, pour éviter cet écrasement, un premier phénomène d'amortissement ; les muscles plantaires, en concordance avec le soutien des structures passives, se contractent en réponse à cet affaissement. Pour finir, les muscles extrinsèques et notamment le triceps sural se contractent pour déclencher une impulsion motrice. Dans cette phase, la voûte plantaire est un levier inter-résistant, puisqu'elle est entre le point d'appui au sol en avant, la force musculaire des extenseurs en arrière, et le poids du corps au milieu. Pour faire face à ces contraintes et éviter qu'elle ne s'écrase à nouveau, il existe un deuxième effet d'amortissement au cours duquel les muscles plantaires se contractent. De plus, ils emmagasinent au cours de cette phase une partie de la force du triceps, qu'ils restituent à la fin de l'impulsion. (Kapandji & Judet, 2009; Klein et al., 2008; Kowalski, 2012)

Dans le cadre de la course, l'ensemble du système permet un « amortissement-ressort », et ce, grâce aux propriétés visco-élastiques du tendon achilléen et de l'aponévrose plantaire, combinés à la contraction du triceps sural et de la musculature intrinsèque et extrinsèque du pied. (Chanussot, Danowski, & Rodineau, 2005; Kapandji & Judet, 2009)

Ainsi, le système suro-achilléo-calacanéoplantaire est une unité fonctionnelle équilibrée qui met en jeu de multiples structures anatomiques. Lorsqu'un élément vient perturber cet équilibre, les autres pièces du système en subissent les répercussions, et des pathologies peuvent apparaître.

1.3. Différentes pathologies micro-traumatiques

La pathologie micro-traumatique ou « overuse injury » est définie comme étant le résultat de multiples micro-traumatismes répétés à l'origine d'une modification et d'une lésion des tissus concernés. Elle peut survenir lorsque le mode d'entraînement, l'intensité et la durée de l'entraînement, ou plus globalement la charge imposée aux tissus varient. Ces pathologies ne sont pas à négliger et il existe un véritable enjeu de les prévenir puisque près de la moitié des blessures sportives seraient liées à une surutilisation mécanique des structures. Le groupe des pathologies micro-traumatiques comprend : les tendinopathies, les fractures de fatigue, le syndrome des loges, la périostite et la fasciite plantaire. (Wilder & Sethi, 2004)

1.3.1. Fractures de fatigue

Les fractures de fatigue ou « stress fracture » correspondent à des fractures des os apparaissant à la suite de l'application de contraintes répétées. En effet, l'os absorbe les contraintes mécaniques résultantes de la force de réaction du sol ou de la traction musculaire. Lorsque le temps de récupération n'est pas respecté et que la fréquence des contraintes est trop importante, l'os ne parvient pas à cicatriser et se fragilise, laissant apparaître une fracture de fatigue. Ces fractures concernent les os du membre inférieur et notamment de la jambe : le tibia dans sa partie antérieure ou médiale, la fibula, la malléole interne, le talus, le calcaneum, le cuboïde, les cunéiformes, l'os naviculaire, les métatarsiens ou encore les os sésamoïdes. (Wilder & Sethi, 2004)

1.3.2. Périostites

La périostite ou « shin splint » ou « medial tibial stress syndrome » est le résultat de l'inflammation du périoste sur lequel s'insèrent les muscles de la jambe qui exercent une contrainte de traction répétée ou trop importante sur le tibia. (Wilder & Sethi, 2004)

1.3.3. Tendinopathies

Les tendinopathies peuvent toucher différents muscles du pied et de la cheville : la tendinopathie d'Achille qui est la plus fréquente et la plus connue, mais également les tendinopathies des muscles tibial postérieur, court et long fibulaires qui sont les autres les plus fréquemment rencontrées.

La tendinopathie est le résultat du surmenage d'un tendon, c'est-à-dire de la surutilisation mécanique du tissu tendineux. J. Cook et C.R. Purdam la définissent comme étant l'exposition d'un tendon à une charge ou stress mécanique à l'origine d'une diminution de la résistance du tendon et par la suite d'une altération de sa fonction. (J. L. Cook & Purdam, 2009) Les tendinopathies regroupent de façon plus large différents types d'altération du tendon (corps du tendon, péri-tendinite, enthésopathie) liées le plus souvent au surmenage ou aux microtraumatismes répétés. (Kouvalchouk & Hassan, 2006)

1.3.4. Fasciite plantaire

Enfin, la fasciite plantaire correspond à une inflammation de l'aponévrose plantaire, à l'origine de douleurs présentent notamment à l'insertion de l'aponévrose plantaire sur le calcanéum. En effet, les contraintes répétées, le déséquilibre du système sur-achilléo-calcaneéo-plantaire et l'écrasement de la voûte sont responsables de tensions sur l'aponévrose. (Huffer, Hing, Newton, & Clair, 2017)

1.4. Facteurs de risque des pathologies micro-traumatiques

De nombreuses études tendent à déterminer les facteurs de risque des pathologies ; certains ont été identifiés comme étant intrinsèques aux structures anatomiques et d'autres extrinsèques et liés à l'activité du sportif.

1.4.1. Facteurs de risque intrinsèques

Les facteurs de risque intrinsèques sont liés aux caractéristiques propres de l'individu et peuvent être modifiables ou non. (Kouvalchouk & Hassan, 2006; Mahieu, Witvrouw, Stevens, Van Tiggelen, & Roget, 2006; Sancerne & Kaux, 2015; Wilder & Sethi, 2004) Parmi ces facteurs, il y a : les données démographiques (âge et sexe), la charge pondérale, la présence de maladie systémique, les anomalies morphologiques ou biomécaniques, les qualités propres musculaires (force, élasticité) ou encore les prédispositions génétiques.

1.4.2. Facteurs de risque extrinsèques

Ils sont liés notamment à la sur-sollicitation mécanique et aux traumatismes répétés, conduisant à une dégénérescence des tissus et des structures anatomiques. (J. L. Cook & Purdam, 2009; Wilder & Sethi, 2004) Cette augmentation du stress mécanique peut être liée à une mauvaise technique de course, un antécédent de blessure pas ou mal soignée, un changement du schéma d'entraînement en termes de durée, fréquence ou charge de l'activité, ou encore à la présence de facteurs environnementaux particuliers tels que la surface du terrain ou un mauvais équipement (chaussure).

1.5. Posture du pied et pathologies micro-traumatiques

De nombreuses études ont investigué le lien entre posture du pied et pathologies micro-traumatiques. Il semblerait qu'un fonctionnement inadapté ou un déficit de maintien de l'arche médiale longitudinale, comme par exemple une pronation excessive, soit un facteur favorisant l'apparition de pathologies de sur-sollicitation.

L'étude de Kaufman présentant une cohorte de 449 patients a tenté de déterminer s'il y avait une association entre la structure du pied et le développement de pathologies micro-traumatiques après un entraînement physique intensif. Il apparaît que le risque relatif de développer une fracture de fatigue est augmenté de manière significative chez les patients présentant des pieds plats ou des pieds creux ; il existe bien une association entre la structure du pied et le risque de développer ce genre de pathologie de sur-sollicitation. (Kaufman, Brodine, Shaffer, Johnson, & Cullison, 1999)

De plus, plusieurs études ont investigué les facteurs de risque de pathologies de type fasciites plantaires, périostites, fractures de fatigue ou tendinopathies et ont identifié notamment la posture du pied en pronation excessive (pied plat) ou au contraire avec une arche trop prononcée (pied creux) comme étant des facteurs favorisants. (Gijon-Nogueron & Fernandez-Villarejo, 2015; Newman, Witchalls, Waddington, & Adams, 2013; Pohl, Hamill, & Davis, 2009) Par ailleurs, l'étude de Mahieu évalue la faiblesse des muscles intrinsèques comme étant un facteur prédisposant à l'apparition de tendinopathies d'Achille. (Mahieu et al., 2006)

En outre, des auteurs comme Busseuil ou encore Hintermann ont mis en évidence l'orientation du pied en pronation excessive comme étant un facteur de risque de pathologies liées au stress mécanique notamment dans la course à pied. (Busseuil, Freychat, Guedj, & Lacour, 1998; Hintermann & Nigg, 1998)

Toutefois, l'article de Jam sur l'évaluation et le réentraînement des muscles intrinsèques du pied émet l'hypothèse que la pronation du pied n'est pas un facteur de risque seul, à condition que les muscles intrinsèques assurent une fonction de contrôle et soient capables de contre-balancer l'insuffisance des structures passives en régulant la pronation et en minimisant les micro-traumatismes répétés sur les tissus. (Jam, 2004)

D'autres études plus récentes ont mis en évidence le rôle des muscles intrinsèques dans le soutien de l'arche médiale longitudinale. L'étude de Fiolkowski présente des résultats intéressants à la suite de l'ablation du nerf tibial ; il apparaît que l'activité musculaire de l'abducteur de l'hallux est diminuée et que la chute de l'os naviculaire est parallèlement augmentée. De plus, une autre étude de la même équipe suivant le même schéma met en évidence l'augmentation de la rigidité musculaire lors de tâches

actives, de par la réduction des informations sensorielles initialement transmises par les muscles intrinsèques. Il semblerait que l'absence ou la déficience des muscles intrinsèques soient à l'origine d'une diminution des capacités de contrôle, de stabilité et d'absorption de contraintes des structures anatomiques du pied. (Fiolkowski, Bishop, Brunt, & Williams, 2005; Fiolkowski, Brunt, Bishop, Woo, & Horodyski, 2003; McKeon & Fourchet, 2015) L'étude d'Headlee confirme cela puisque la répétition de contractions des muscles intrinsèques générant une fatigue est à nouveau à l'origine d'une chute naviculaire. Ainsi, la fatigue ou le dysfonctionnement de ces muscles sont à l'origine de troubles de la posture statique et dynamique du pied. (Headlee, Leonard, Hart, Ingersoll, & Hertel, 2008; McKeon & Fourchet, 2015)

Il semble alors que la posture du pied liée à la faiblesse des muscles intrinsèques et à l'insuffisance des structures passives puisse être un facteur favorisant l'apparition de pathologies de sur-sollicitation. Les résultats de ces études sur la posture doivent toutefois être considérés avec précaution ; il n'est pas possible d'affirmer qu'un pied dans une position considérée comme anormale développera certainement une pathologie d'ordre micro-traumatique, mais il est possible d'émettre l'hypothèse qu'une accumulation de facteurs de risque dont la posture du pied pourrait prédisposer à l'apparition de telles pathologies.

1.6. Recommandations

Parmi les recommandations pour le traitement de pathologies micro-traumatiques, la quantification du stress mécanique et la gestion de la charge appliquée aux structures sont élémentaires et à considérer avec attention. (J. L. Cook & Purdam, 2009; Martin et al., 2018) Toutefois, très peu d'études investiguent la piste du renforcement de la musculature intrinsèque du pied dans le cadre de pathologies micro-traumatiques.

1.7. Population atteinte

Les pathologies micro-traumatiques concernent les populations sportives ; l'étude de Francis sur la proportion des blessures liées à la pratique de la course à pied présente la tendinopathie d'Achille comme étant la seconde pathologie rencontrée au sein de

cette population, de l'ordre de 10%, juste avant la périostite (8%) et derrière le syndrome fémoro-patellaire (17%). (Francis, Whatman, Sheerin, Hume, & Johnson, 2019) Il apparaît que 50% des blessures liées au sport seraient secondaires à des microtraumatismes répétés. (Wilder & Sethi, 2004) Toutefois, les populations sédentaires ou présentant certaines pathologies peuvent également être atteintes de pathologies liées à la surutilisation mécanique du pied.

1.8. Hypothèse, intérêt et objectifs de la revue

1.8.1. Hypothèse théorique

Bien que l'implication de la structure du pied dans le développement de pathologie ait été remise en question, il existe à ce jour de nombreux articles mettant en évidence la posture du pied comme étant non pas un facteur prédictif mais un facteur prédisposant au développement de pathologies micro-traumatiques lorsqu'il est associé à d'autres facteurs de risque. De plus, les connaissances actuelles permettent de dire que les muscles intrinsèques contribuent entre autres au support de l'arche médiale longitudinale.

Ainsi, la relation entre l'hypo-fonction de ces muscles ou leur recrutement anormal, et l'apparition de pathologies micro-traumatiques liées au système suro-achilléo-calcanéo-plantaire, a été suggérée. La musculature intrinsèque du pied pourrait donc, dans le cadre d'une dysfonction, prédisposer les individus à des pathologies liées à l'hyper-pronation.

Il est possible d'émettre l'hypothèse que l'entraînement et le renforcement de ces muscles intrinsèques en termes de force, d'endurance ou de contrôle neuromusculaire puisse avoir un intérêt primordial dans la prévention et le traitement de pathologies micro-traumatiques.

1.8.2. Intérêt de la revue

Il est intéressant d'effectuer cette revue afin de comprendre le rôle des muscles intrinsèques, trop souvent négligés, et de les intégrer dans la rééducation des patients

présentant des pathologies d'ordre micro-traumatique. En effet ces pathologies sont très courantes mais difficiles à traiter. Comprendre le rôle de ces muscles est important afin d'expliquer la relation entre leur hypo-fonction et les pathologies micro-traumatiques. Cependant les effets du renforcement de ces muscles et l'efficacité de tels traitements n'ont pas encore été étudiés de manière approfondie. Cette revue permet d'introduire une nouvelle piste à investiguer en termes de prévention ou de traitement.

1.8.3. Objectifs et problématique

A la suite de ce raisonnement, une question principale est mise en évidence : **quels sont les effets des exercices de renforcement de la musculature intrinsèque du pied chez les patients pratiquant une activité physique ou non, sains ou présentant des pieds plats, sur les critères de posture, de force et de performance ?**

D'autres interrogations se posent alors : existe-t-il des différences en termes de résultats selon les programmes d'entraînement proposés ? Quels sont les intérêts d'une telle intervention dans la prévention et le traitement des pathologies micro-traumatiques ?

L'objectif de cette revue est donc de démontrer le rôle des muscles intrinsèques du pied et l'effet du renforcement de ces muscles sur la posture, la force et la performance afin de mettre en évidence l'intérêt d'exercices de renforcement dans le traitement ou la prévention de pathologies micro-traumatiques.

2. Méthode

2.1. Critères d'éligibilité des études pour cette revue

2.1.1. Types d'études

Les articles ont été sélectionnés et analysés en fonction de leur qualité et leur évidence scientifique. Seules les études scientifiques ont été retenues. Des grades de

recommandation ont été définis notamment par la Haute Autorité de Santé (HAS) en fonction des types d'études et de leur niveau de preuve. (Tableau II) (« Haute Autorité de Santé - Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique - État des lieux », 2013) L'inclusion des articles de cette revue s'appuie sur cette gradation, et favorise les articles avec un fort niveau de preuve ou un niveau de preuve intermédiaire. Toutefois, aux vues du faible nombre d'articles traitant du sujet, les études de grade C telles que les études quasi-expérimentales de type interventionnelles avant/après (pré et post-test) ont été également incluses, mais doivent être considérées avec prudence. De plus, seuls les articles réalisés après 2000 et rédigés en anglais ou en français ont été inclus.

Les critères d'exclusion retenus sont les suivants :

- Articles datant d'avant 2000
- Article en langue étrangère autre que le français ou l'anglais
- Article présentant des protocoles non réalisés en lien avec le sujet

Tableau II : Tableau des grades de recommandations

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature
A Preuve scientifique établie	Niveau 1 - 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 - essais comparatifs randomisés de faible puissance ; - études comparatives non randomisées bien menées ; - études de cohortes.
C Faible niveau de preuve scientifique	Niveau 3 - études cas-témoins. Niveau 4 - études comparatives comportant des biais importants ; - études rétrospectives ; - séries de cas ; - études épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale).

2.1.2. Population

Les études incluses dans cette revue ont été réalisées auprès de populations d'adultes sains pratiquant une activité sportive ou non, récréative ou de haut niveau. De même, les articles présentant une population atteinte d'une pathologie micro-traumatique ou relatives au système suro-achilléo-calcanéo-plantaire ont été inclus. Ainsi les patients atteints de tendinopathie d'Achille, de fasciite plantaire ou de périostite ont été acceptés.

Les critères d'exclusion suivants ont été retenus :

- Les articles étudiant des populations animales
- Les articles étudiant des populations atteintes de troubles systémiques de type inflammatoire, neurologique ou cardio-vasculaire
- Les articles présentant des patients avec un handicap lié à des troubles neurologiques ou une déficience neuro-musculaire du membre inférieur.
- Les articles avec des populations atteintes de pathologies musculo-squelettiques autres que celles du système suro-achilléo-calcanéo-plantaire.

2.1.3. Intervention

Les études incluses dans cette revue entrent dans le domaine de compétences du masseur-kinésithérapeute diplômé d'Etat et traitent exclusivement des effets du renforcement de la musculature intrinsèque du pied. Elles peuvent avoir pour objectif la prévention ou le traitement des pathologies sus-citées. Ce renforcement peut être réalisé par le biais de différents exercices ou techniques qui ont été retenus.

Les exercices de renforcement des muscles intrinsèques du pied retenus sont les suivants :

- **Short-foot exercise (SFE)** : l'objectif est de raccourcir le pied selon un axe antéro-postérieur, en élevant l'arche médiale longitudinale. Pour cela, il est demandé au patient d'amener la tête des métatarsiens vers le talon sans fléchir les orteils ou solliciter les muscles extrinsèques. (Gooding, Feger, Hart, & Hertel, 2016)

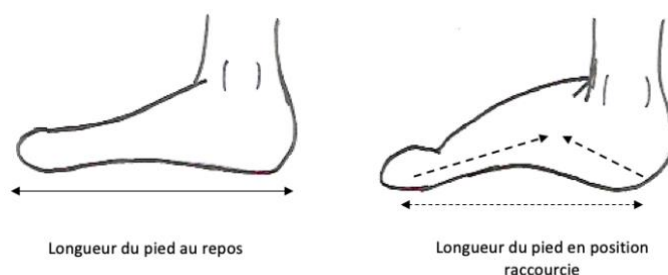


Figure 8 : Short-foot exercise

- **Toe-curl ou towel-curl exercise (TCE)**: exercice réalisé avec une serviette sous les pieds ou non, le but étant d'enrouler les orteils par une flexion des articulations inter-phalangiennes (IPP) et métatarso-phalangienne (MP). La

flexion des IPP et des MP contre une charge correspond au même mouvement d'enroulement des orteils. (Hashimoto & Sakuraba, 2014; Jung, Kim, et al., 2011; Lynn, Padilla, & Tsang, 2012)

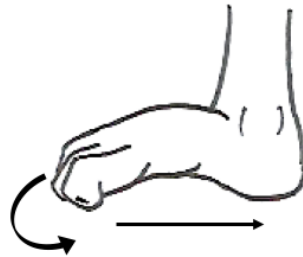


Figure 9 : Toe-curl exercise

- **Toe-spread-out exercise (TSOE)** : les 5 orteils doivent être amenés en extension puis en abduction (écartement des orteils) ; le patient amène ensuite en flexion le 1^{er} et le 5^{ème} orteil jusqu'au sol en gardant les 3 autres orteils en extension. (Gooding et al., 2016)

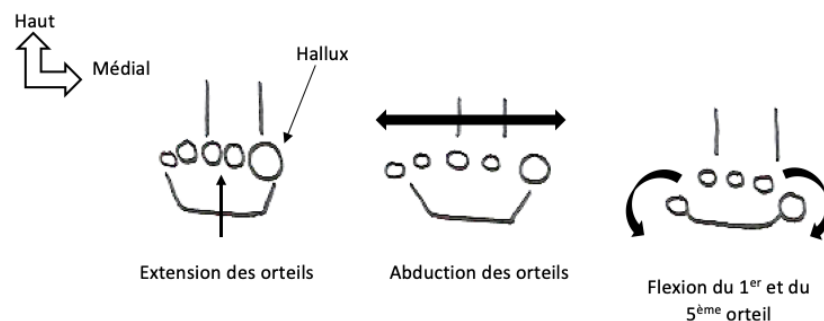


Figure 10 : Toe-spread-out exercise (vue frontale du pied)

- **Hallux-extension ou First-toe-extension exercise (HE)** : le grand orteil est amené en extension tandis que les autres orteils restent au sol dans une position neutre. (Gooding et al., 2016)



Figure 11 : Hallux-extension exercise

- **Lesser-toe-extension ou Second-to-fifth-toe-extension exercise (LTE)** : les orteils 2, 3, 4 et 5 sont emmenés en extension tandis que le gros orteil reste au sol en position neutre. (Gooding et al., 2016)

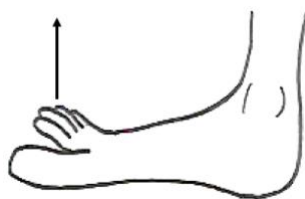


Figure 12 : Lesser-toe-extension exercise

Ces exercices peuvent être réalisés en position assise, debout sur les deux pieds ou sur un pied.

- **Vele's Forward Lean exercise** : en position debout, le patient se penche au maximum vers l'avant en gardant les bras le long du corps, les pieds écartés de la largeur des épaules avec le corps en position rectiligne, sans décoller les talons du sol. (Sulowska, Mika, Oleksy, & Stolarczyk, 2019; Sulowska, Oleksy, Mika, Bylina, & Sołtan, 2016a)

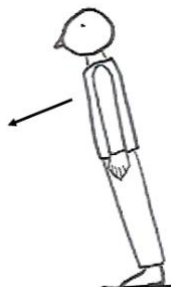


Figure 13 : Vele's Forward Lean exercise

- **Reverse Tandem Gait exercise** : le patient marche en arrière le long d'une ligne droite. (Sulowska et al., 2019, 2016a)

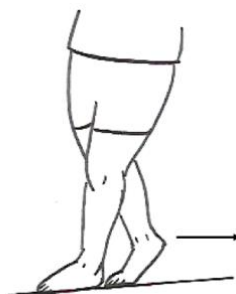


Figure 14 : Reverse Tandem Gait exercise

D'autre part, les études proposant une intervention d'électrostimulation neuromusculaire (NMES : Neuromuscular electrostimulation) ont été retenues. Il s'agit d'une technique d'électrothérapie stimulant l'activation neurale et le renforcement musculaire via la contraction involontaire des muscles squelettiques. Des impulsions sont envoyées par le biais d'électrodes ciblant les muscles à renforcer. Il apparaît que l'électrostimulation augmente le volume musculaire (surface de section transversale du muscle) et la force musculaire. Seule l'électrostimulation neuromusculaire classique est investiguée dans cette revue.

Les critères d'exclusion retenus sont :

- Les articles n'appartenant pas au domaine de la masso-kinésithérapie et présentant des traitements de type médicamenteux ou chirurgicaux
- Les articles étudiant la musculature extrinsèque du pied
- Les articles évaluant différentes techniques de course uniquement ou différents types de chaussures
- Les articles évaluant la posture du pied ou la fonction des muscles intrinsèques du pied
- Les articles présentant du matériel, des méthodes ou des outils d'évaluation
- Les études anatomiques descriptives ou comparatives
- Les articles proposant des exercices modifiés (inclinaison de plan)
- Les articles présentant d'autres moyens thérapeutiques en association avec le renforcement de la musculature intrinsèque de type laser, ultra-sons, infra-rouge ou tape

2.1.4. Critères de jugement

Les études ont été sélectionnées si elles présentaient au moins un des critères de jugement décrits pour l'étude.

Le critère de jugement principal retenu est la position de l'arche plantaire, qui représente la posture du pied. Certaines études établissent un lien entre la position de l'os naviculaire et sa chute et la présence de pathologies micro-traumatiques, ce qui laisse à penser que la mesure de la position de l'os naviculaire ou de l'arche en générale permet de détecter les sujets à risque, et d'évaluer les bénéfices et effets des

techniques de renforcement de la musculature intrinsèque du pied. Cette position est caractérisée notamment par la hauteur de l'os naviculaire.

Ce critère peut être évalué par différents tests ou mesures : le Navicular Drop test classique (NDT), le Sit-to-stand Navicular Drop test (NDT modifié), l'Arch Height Index (AHI), l'angle de l'arche médiale longitudinale, les mesures simples de la hauteur de l'os naviculaire et de la longueur des arches longitudinale et horizontale, et le Foot Posture Index (FPI-6). (Annexe 6) (« Correlation of Foot Posture Index With Plantar Pressure and Radiographic Measurements in Pediatric Flatfoot », s. d.; « Hip weakness and shin splints », 2018; E. Miller, Whitcome, Lieberman, Norton, & E. Dyer, 2014; Redmond, Crosbie, & Ouvrier, 2006)

Les critères de jugement secondaires retenus sont la force musculaire et la performance.

Ainsi, le second critère de jugement qu'est la force musculaire peut être évalué par : les ratios d'activation musculaire basés sur des comparaisons d'imagerie pré et post test, les mesures simples de volume musculaire par calcul de la surface de section transversale (CSA), les mesures par électromyogramme (EMG), ou encore les mesures réalisées par un dynamomètre. Ces méthodes d'évaluation reposent sur le principe que le volume musculaire et le pourcentage d'activation musculaire sont représentatifs de la force musculaire et permettent de la quantifier.

Enfin le troisième critère de jugement qu'est la performance peut être analysé par : l'équilibre statique évalué par l'Intrinsic Foot Muscle Test (IFMT) ou selon une mesure simple, l'équilibre dynamique évalué par le Star Excursion Balance Test (SEBT) ou Y-balance test, l'échelle de performance motrice de Bérard, la fatigue, et enfin l'analyse plus fonctionnelle des mouvements grâce aux tests dynamiques fonctionnels (1 legged-long jump, vertical jump, 50-m dash time), à la cinématique de marche et au Functional Movement Screen test (FMS). La performance est mise en évidence par les capacités fonctionnelles statique et dynamique des patients, ainsi que par la fatigabilité.

2.2. Méthodologie de recherche des études

2.2.1. Sources documentaires investiguées

Au cours de cette recherche documentaire diverses bases de données scientifiques ont été investiguées notamment PubMed, Google Scholar, LISSa, SportDiscuss, PEDro. Aux vues des résultats de recherche présentant des articles similaires d'une base de données à l'autre, il a été décidé arbitrairement de ne garder que les équations des bases de données PubMed, Google Scholar et LISSa. Par ailleurs des revues scientifiques ont été consultées dans le cadre de recherche plus précise ; « The British Medical Journal » et « The Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy ». Enfin, s'ajoutent les recherches de livres et de mémoires effectuées au sein de la Bibliothèque Universitaire de Lyon I, la consultation de sites internet officiels ainsi que le renvoi à des références bibliographiques d'articles sélectionnés.

2.2.2. Equation de recherche

Au cours de cette recherche et afin de répondre à la problématique, les mots-clefs suivants ont été utilisés dans différentes bases de données :

- Intrinsic foot muscle* (musculature intrinsèque du pied)
- Short foot exercise* (exercice de raccourcissement du pied, muscles intrinsèques)
- Foot doming* (exercice de renforcement des muscles extrinsèques)
- Overuse injury/pathology* (pathologie microtraumatique)
- Overuse treatment* (traitement de la pathologie de sur-sollicitation)
- Renforcement*
- Musculature du pied*

Ils ont été associés selon les équations de recherche suivantes et dans les différentes bases de données :

- PubMed :
 - Equation n°1 : *Intrinsic foot muscle*
 - Equation n°2 : *Short foot exercise*

- Equation n°3 : (*Short foot exercise* OR *intrinsic foot muscle* OR *foot doming*) AND (*overuse injury* OR *overuse pathology* OR *overuse prevention* OR *overuse treatment*)
- Google Scholar
 - *Short foot exercise* AND *overuse injury*
- Lissa
 - *Renforcement du pied*

Les mots clefs suivants ont également été utilisés pour la bibliographie :

- Foot posture* (posture du pied)
- Intrinsic foot muscles* (muscles intrinsèques du pied)
- Gait retraining* (rééducation de la marche)
- Running injury* (blessures liées à la course à pied)
- Risk factors* (facteurs de risque)

2.3. Extraction et analyse des données

2.3.1. Sélection des études

Les études ont été sélectionnées selon les critères d'inclusion et d'exclusion décrits précédemment. Seuls les articles rédigés en langue française ou en langue anglaise ont été étudiés. Différents types d'étude ont été acceptés ; les études de type interventionnelle pré et post-test, les essais contrôlés randomisés ou encore les études observationnelles.

2.3.2. Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées

Une lecture critique des études incluses a été réalisée afin d'évaluer leur qualité méthodologique et les potentiels biais présents. (Annexe 8) De plus, une fiche de lecture a été faite pour chaque article inclus dans l'étude. (Annexe 9) Il est possible d'y voir le nom des auteurs, la date de publication, la source de l'article, le plan général ainsi que les détails importants relevant de la méthodologie ou des résultats, les biais relevés et le niveau de preuve. D'autre part, pour les essais cliniques randomisés, le

score PEDro (Annexe 7) (« Échelle PEDro (Français) », s. d.) a été calculé pour chaque article et noté sur 11 selon les items proposés par la traduction française de l'échelle, afin d'évaluer la validité interne et externe des études. Une étude a été analysée par la grille STROBE conçue pour la lecture des études observationnelles (suivi de cohorte, études cas-témoin, études transversales), qui réunit 22 items en 6 sections : titre et résumé, introduction, méthode, résultats, discussion et autres informations. (Annexe 7) (« Traduction française des lignes directrices STROBE pour l'écriture et la lecture des études observationnelles - EM|consulte », s. d.)

2.3.3. Méthode de synthèses des résultats

Les résultats ont été collectés et transcrits selon les différentes interventions, et réunis sous la forme de tableaux pour chaque critère de jugement. (Annexe 5)

3. Résultats

3.1. Description des études

3.1.1. Diagramme de flux

Le diagramme de flux des équations PubMed et diagramme de flux final, ainsi que le tableau récapitulatif des études sont disponibles en annexes. (Annexes 2, 3 et 4)

3.1.2. Etudes exclues

Au cours de la recherche effectuée sur PubMed, un total de 121 articles a été recensé concernant la première équation contenant les mots-clefs « Intrinsic foot muscles ». Après exclusion d'un doublon issu de la même recherche et de 3 autres doublons identifiés pour d'autres équations, les 117 articles restants ont été triés puis sélectionnés à la suite de la lecture du titre, du résumé, puis de l'article complet. Au sein de ces 117 articles, seuls 57 ont été retenus après lecture du titre, les 60 autres étant exclus puisqu'ils ne correspondaient pas à un ou plusieurs critères d'inclusion de la revue. Parmi eux, 28 articles ne traitaient pas de pathologie liée au système sur-

achilléo-calcanéo-plantaire mais d'une pathologie associée ; 12 articles associaient un diabète, 9 articles associaient la maladie de Charcot-Marie-Tooth, et les 7 autres présentaient une dystrophie congénitale, une lèpre, une myopathie, un syndrome de Morton, une déformation de Sprengel, un pied creux neurologique et une pathologie du nerf sciatique. Un total de 9 articles a également été exclu ; les premiers étudiant les pathologies concernant les enfants, les autres traitant des animaux ou s'appuyant sur les modèles animaux. A cette liste s'ajoutent 30 articles se rapportant au domaine médico-chirurgical et ne traitant pas de la kinésithérapie, 2 articles en langue étrangère autre que l'anglais et 24 articles datant d'avant 2000.

A la lecture du résumé, 30 articles ont été exclus pour les raisons suivantes : 15 d'entre eux présentaient des évaluations musculaires ou des outils ou méthodes d'évaluation, 7 étaient des études anatomiques et 8 traitaient de techniques de course minimaliste et de chaussage. Les 27 articles restants ont été lus et seuls 6 d'entre eux ont été inclus à la suite de cette lecture totale. Les 21 autres ont été exclus et comptaient : 11 articles mettant en évidence la posture du pied et la fonction des muscles intrinsèques sans protocole de renforcement, 1 article présentant les bénéfices du biofeedback pour les exercices de renforcement, 3 articles proposant des exercices fatigant volontairement les muscles intrinsèques afin de mettre en évidence l'importance de ces muscles, 2 articles traitant des muscles extrinsèques ou d'une variation d'exercice sur plan incliné, et enfin 1 article de recommandation sur la prise en charge de la cheville. Un article de revue sur le « Foot core system » a été identifié mais non inclus puisqu'il ne s'agissait pas d'une étude exploitable en termes de données numériques (McKeon, Hertel, Bramble, & Davis, 2015). De plus, une revue systématique du renforcement de la musculature intrinsèque du pied pour la fasciite plantaire (Huffer et al., 2017) est apparue dans la liste d'articles ; toutefois elle n'a pas été retenue puisqu'elle inclue des articles qui sont étudiés dans cette revue de littérature. Elle servira donc de point de comparaison de la revue présente. De même, un protocole d'évaluation des effets thérapeutiques de programme d'exercice du pied sur l'incidence des blessures, la fonctionnalité du pied et la biomécanique chez les coureurs de fond (Matias, Taddei, Duarte, & Sacco, 2016) a été recensé mais n'a pas été inclus puisqu'il n'a pas encore été mis en place et ne propose pas de résultats exploitables actuellement.

La seconde équation investiguée sur PubMed avec les mots-clefs « short foot exercise » comptait 15 articles, dont 9 doublons identifiés dans les autres équations de recherche. Parmi les 6 articles restants, seuls 2 ont été retenus, les 4 autres articles étant exclus à la lecture totale ; un article proposait une comparaison d'exercices selon la posture du pied, un autre comparait les effets selon des plans inclinés et les deux derniers ne correspondaient pas aux critères de jugement énoncés.

La dernière équation recherchée sur PubMed associant les mots-clefs « (Short foot exercise OR intrinsic foot muscle OR foot doming) AND (overuse injury OR overuse pathology OR overuse prevention OR overuse treatment) » comptait 5 articles. Aucun doublon n'a été reconnu et 3 articles ont été exclus à la lecture du titre et du résumé ; le premier étant une revue sur le « Foot core system » à nouveau et ne présentant pas de résultats numériques exploitables (McKeon & Fourchet, 2015), le second comparant la différence d'angle de l'arche médiale longitudinale et l'activité musculaire sans proposer de protocole de renforcement, et le dernier traitant d'une technique spécifique d'électrostimulation neuromusculaire à impulsions larges.

L'équation « intrinsic foot muscle » a également été investiguée sur Google Scholar. Au cours de cette recherche 10 articles ont été retenus. Toutefois en confrontant les articles trouvés à ceux des autres bases de données, seuls 5 ont été éligibles à la lecture du titre et du résumé, les 5 autres étant des doublons. Après lecture du titre et du résumé 2 articles ont été exclus puisqu'ils effectuaient la comparaison de postures du pied et un article a été exclu puisqu'il étudiait les effets du port de la chaussure minimaliste. Pour finir, un dernier article a été exclu après lecture totale puisqu'il traitait de renforcement mais dans le cadre de douleurs fémoro-patellaires.

3.1.3. Etudes inclues

Un total de 13 articles a été inclus à la suite des recherches effectuées et à l'exclusion des études ne correspondant pas aux critères d'inclusion et d'exclusion définis au préalable. (Annexe 2 et 3)

Au sein de ces 13 articles, sont observables 5 études interventionnelles de type pré et post-test dont 1 étude pilote. Les études pré et post-test ou avant/après permettent la collecte de données avant et après une intervention. En ce qui concerne les essais

contrôlés randomisés, 6 ont été analysés. Enfin, 1 étude comparative et 1 étude observationnelle ont été retenues ; la première compare les effets de deux techniques de renforcement du pied et la seconde permet la description de l'activité musculaire en fonction des exercices réalisés. (Figure 15)

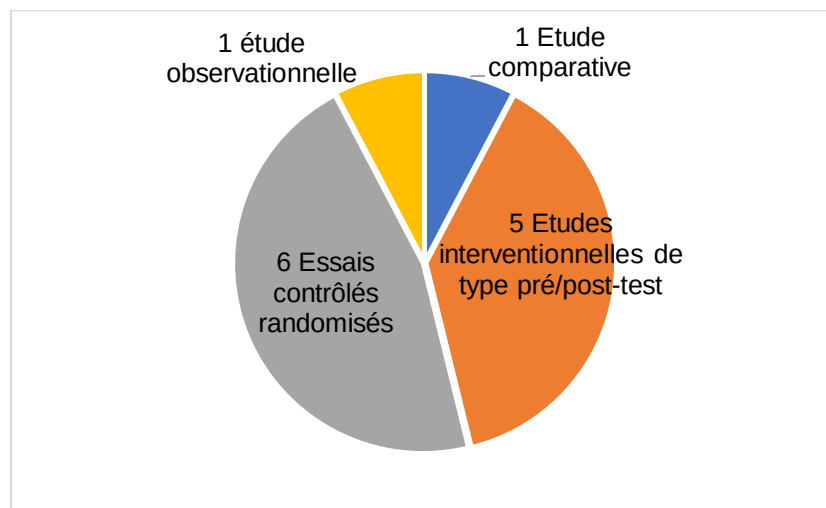


Figure 15 : Nombre et types d'études incluses

Les études incluses ont été publiées au cours des neuf dernières années, les dates de publication allant de 2009 à 2018. La date de publication moyenne est 2014,6 et la date médiane est 2016. (Figure 16)

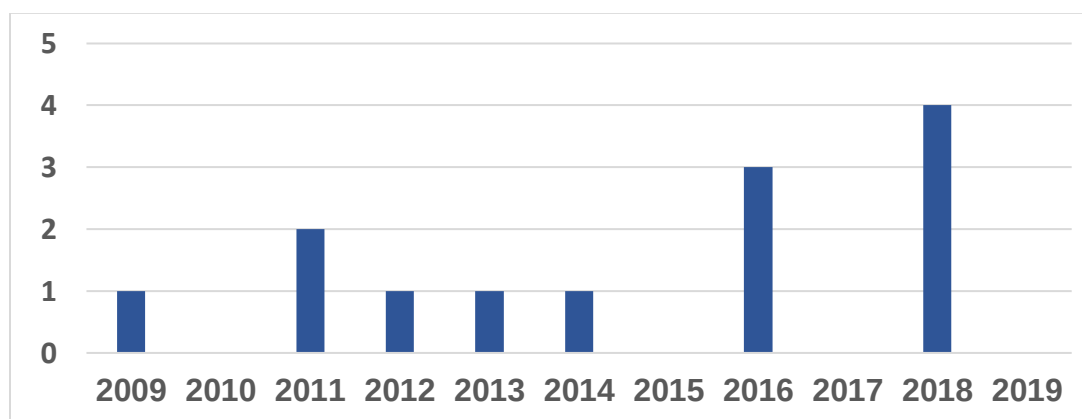


Figure 16 : Nombre d'articles inclus selon la date de publication

En ce qui concerne les caractéristiques de la population, un total de 304 patients est étudié au sein des 13 articles. Neuf articles ont précisé la proportion de participants selon leur sexe ; 55% de la population est masculine (123 hommes sur 222) et par opposition 45% est féminine (99 femmes sur 222). (Figure 17) L'âge des patients varie de 15 à 36 ans, la moyenne étant de 22,5 ans.

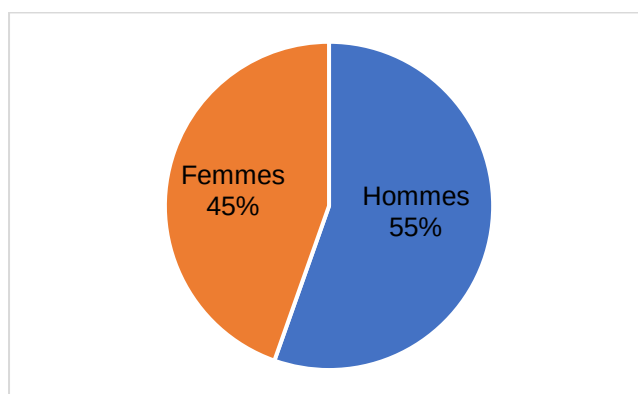


Figure 17 : Proportion Homme/Femme des études

Parmi les études incluses, 6 ont intégré une population de patients sains, soit un total de 171 patients, ce qui représente 56% de la population totale incluse. 4 études ont intégré des patients sportifs de haut niveau, pratiquant une activité physique récréative ou de la course à pied de façon régulière ; soit donc 73 patients, ce qui correspond à 24% de la population. Enfin, 3 études ont intégré des patients avec des pieds plats, soit 60 patients, correspondant au 20% restants. (Figure 18)

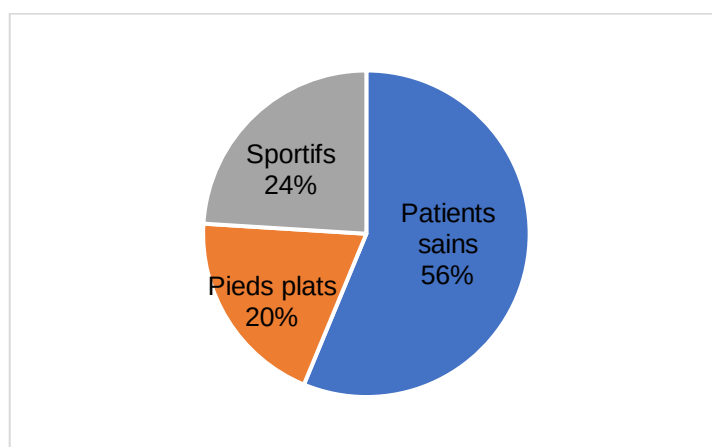


Figure 18 : Proportion de patients sains, sportifs et avec pieds plats

En moyenne, 23 patients sont inclus par étude ; le nombre de patients varie allant de 8 à 74 patients. 1 étude a inclus moins de 10 patients, 6 études en ont inclus entre 11 et 20, 5 études en ont inclus entre 21 et 30 et 1 étude en a inclus plus de 30. (Figure 19)

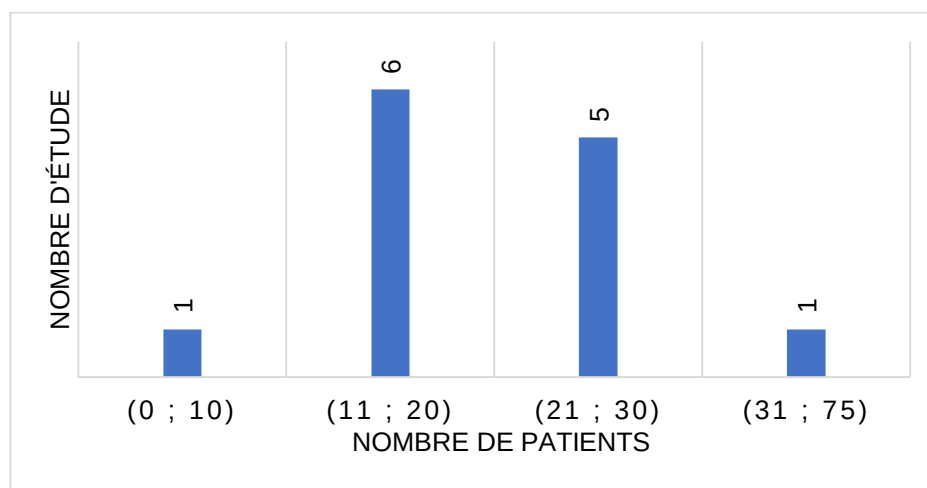


Figure 19 : Nombre d'études selon le nombre de patients

Différents exercices ou moyens de renforcement ont été présentés dans les études sélectionnées. L'exercice le plus récurrent est le Short-foot exercise puisqu'il est mentionné dans 8 études. Le moyen de renforcement le plus utilisé après cet exercice est l'électrostimulation neuromusculaire (NMES) qui apparaît dans 4 études de la revue. Le Toe-curl exercise est la troisième technique de renforcement la plus utilisée. Les autres exercices mentionnés ci-après n'apparaissent que dans 2 études à chaque fois : Hallux-extension, Lesser-toe-extension, Toe-spread-out. Enfin le Reverse Tandem Gait et le Vele's Forward Lean n'apparaissent que dans une seule étude. Dans la catégorie « autres » un protocole de running a été mis en place mais n'est pas étudié au sein de cette revue. (Figure 20)

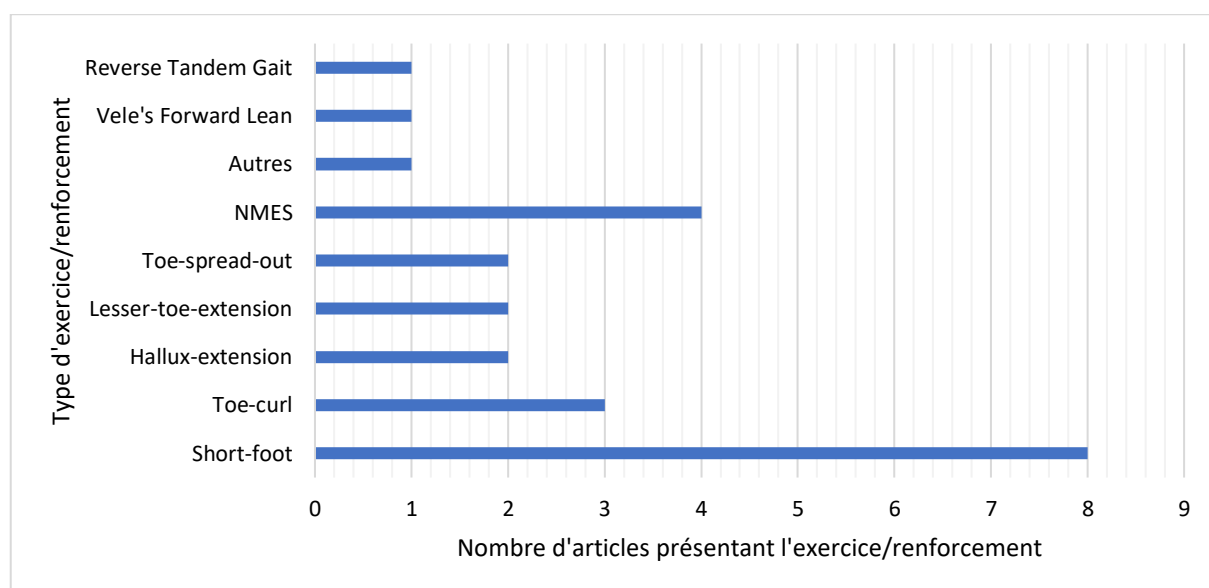


Figure 20 : Nombre d'articles selon le type d'exercice/renforcement

Les études ont été incluses lorsqu'elles répondaient à un ou plusieurs critères de jugement. Le critère de jugement principal était la hauteur de l'arche, relatif à la posture du pied ; parmi les 13 études sélectionnées, 10 répondaient à ce critère. Les critères de jugement secondaires étaient la performance et la force musculaire ; 9 et 6 études répondaient à ces critères, respectivement. 2 autres études mentionnaient d'autres critères qui n'ont pas été investigués tel que la difficulté perçue dans la réalisation de l'exercice par le patient et les récurrences de blessures. (Figure 21)

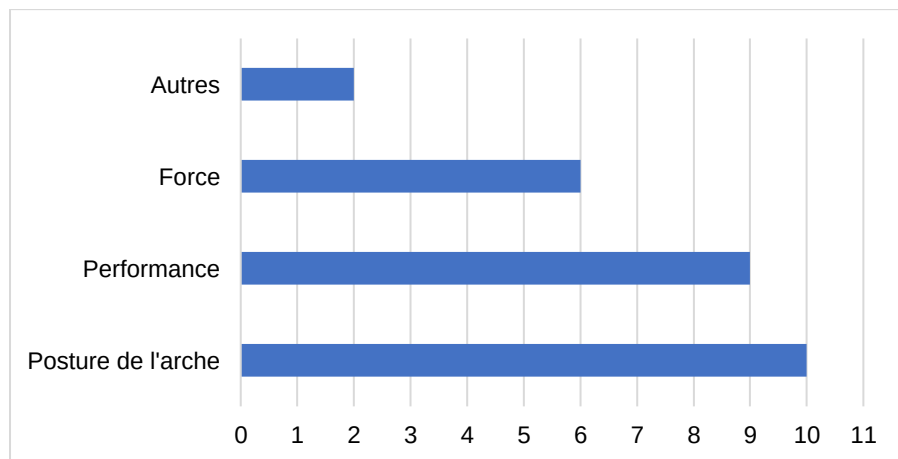


Figure 21 : Nombre d'articles répondant aux critères de jugement

Enfin, 7 études correspondent à un niveau de preuve de grade B, et 6 de grade C. En ce qui concerne les essais contrôlés randomisés, les scores PEDro ont été calculés ; sur les 6 essais 2 études ont un score de 5/11, 2 autres ont un score de 7/11, 1 étude a un score de 6/11 et la dernière a un score de 9/11. (Figure 22)

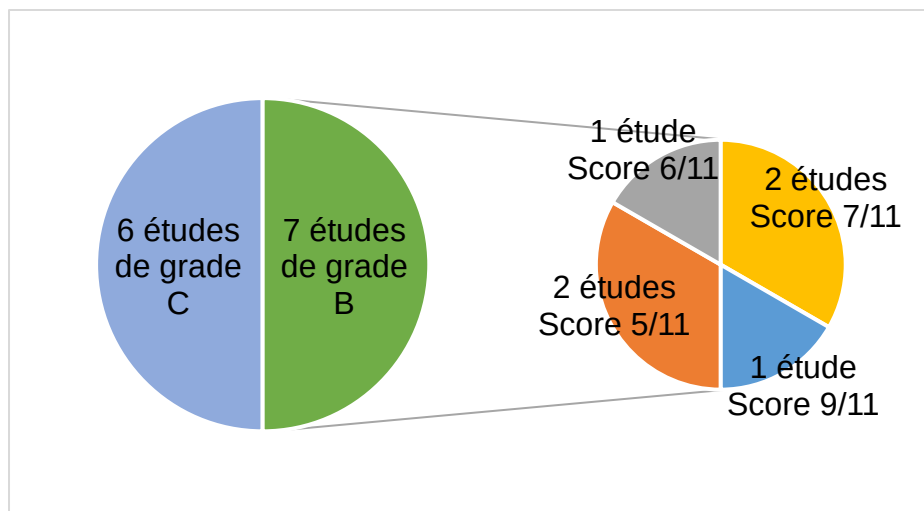


Figure 22 : Répartition des études selon leur niveau de preuve

3.2. Description des moyens de mesure de résultats

3.2.1. Mesure des résultats pour le critère de jugement principal : position de l'arche médiale longitudinale

La position de l'arche peut être évaluée par différentes mesures ou différents tests. Le test le plus utilisé est le Navicular Drop test décliné en Sit-to-stand Navicular Drop test. (Annexe 6) (« Hip weakness and shin splints », 2018) Ce test décrit initialement par Brody en 1982 permet de quantifier la posture du pied et de mesurer dans le plan sagittal le déplacement de l'os naviculaire entre une position neutre et une position de repos. Selon la méthode décrite par Brody, la mesure se fait debout en position neutre (placement de la tête talienne) puis en position relâchée et la différence entre les deux hauteurs de l'os naviculaire au sol correspond au drop. Le Sit-to-stand Navicular Drop test (ND modifié) est plus utilisé actuellement : le patient est en position assise, les hanches, genoux et chevilles fléchis à 90°, les pieds au sol. Le praticien place l'articulation sous-talaire en position neutre afin qu'il y ait la plus grande congruence de la tête du talus au sein de l'articulation, puis marque la tubérosité naviculaire et mesure la hauteur relative au sol. Le patient se met alors debout et la position de la tubérosité naviculaire par rapport au sol est à nouveau mesurée. Le « drop » correspond à nouveau à la différence entre la mesure assise et celle debout. Cette mesure peut se faire en position debout sur les deux pieds ou sur un seul (double leg standing ou single leg standing). Un drop compris entre 6 et 8mm correspond à des valeurs normales, tandis qu'un drop supérieur à 10mm correspond à une position anormale ou une pronation excessive. La fiabilité du test a été évaluée à plusieurs reprises ; ce test largement utilisé permet d'identifier la posture du pied mais est à interpréter avec précaution. 5 études ont utilisé le Navicular Drop test modifié ou non pour évaluer la posture de l'arche médiale longitudinale. (Brody, 1982; McPoil et al., 2008; Mulligan & Cook, 2013; Vinicombe, Raspovic, & Menz, 2001)

L'Arch Height Index que l'on peut traduire par indice de hauteur de l'arche est une mesure correspondant au ratio de la hauteur dorsale du pied (prise à la moitié de la longueur du pied) sur la longueur du pied tronquée (longueur allant de la tête du 1^{er} métatarsien à la pointe postérieure du calcaneum). (Annexe 6) (E. Miller et al., 2014) Cela permet de rationaliser la hauteur du pied par rapport à sa longueur. Une seule

étude a mesuré cet indice afin d'évaluer la posture de l'arche interne, en complément d'une autre mesure. (Butler, Hillstrom, Song, Richards, & Davis, 2008)

Des mesures simples ont été réalisées au sein de 3 études incluses afin d'évaluer la posture de l'arche. Deux études ont mesuré la hauteur naviculaire qui correspond à la distance perpendiculaire entre la tubérosité naviculaire et le plan de la plante du pied, c'est-à-dire le plan passant par la tête du 1^{er}, du 5^{ème} métatarsien et du calcaneum. Une étude a mesuré la longueur des arches longitudinale et horizontale du pied en position debout statique afin de créer une empreinte. La longueur de l'arche longitudinale correspond à la distance de la tête du 1^{er} métatarsien jusqu'à la tubérosité calcaneenne, et celle de l'arche horizontale correspond à la distance entre la tête du 1^{er} et la tête du 5^{ème} métatarsien. (Saltzman, Nawoczenski, & Talbot, 1995)

Une autre étude a évalué l'angle de l'arche médiale longitudinale qui correspond à l'angle formé entre la tête du 1^{er} métatarsien, la tubérosité naviculaire et le calcaneum. Une augmentation de l'angle traduit un affaissement de la voûte plantaire, et une diminution de l'angle indique une arche haute et soutenue. (Jung, Kim, et al., 2011)

Enfin, la dernière étude a évalué la posture de l'arche interne via le « Foot Posture Index » (FPI-6). (Annexe 6) (Redmond et al., 2006) Cette évaluation, fiable et facile à mettre en place permet d'évaluer la posture du pied via 6 items. Le FPI-6 comprend 6 parties qui traitent des différentes composantes de l'avant-pied et de l'arrière-pied, chez un sujet debout en position relâchée :

- 1) Palpation de la tête du talus
- 2) Courbures supérieure et inférieure de la malléole latérale
- 3) Inversion/éversion du calcaneum
- 4) Proéminence dans la région de l'articulation talo-naviculaire
- 5) Hauteur et congruence de l'arche médiale longitudinale
- 6) Abduction/adduction de l'avant-pied et de l'arrière-pied.

Chacune de ces parties est notée sur une échelle allant de -2 à +2. Les valeurs négatives sont représentatives de la supination du pied tandis que les valeurs positives représentent la pronation. La position neutre du pied correspond au 0. Le score total permet de déterminer la catégorie du pied : de -12 à -5 le pied est en supination augmentée, de -4 à -1 le pied est en légère supination, de 0 à +5 le pied est en position

neutre, de +6 à +9 le pied est en légère pronation et de +10 à +12 le pied est en pronation augmentée. (Redmond, Crane, & Menz, 2008; Redmond et al., 2006; Sulowska et al., 2016a)

3.2.2. Mesure des résultats pour le critère de jugement secondaire : force musculaire

Différents outils et méthodes sont disponibles afin d'évaluer la force musculaire. Dans un premier temps, des ratios d'activation musculaire peuvent être calculés afin de mettre en évidence la progression et l'efficacité du travail musculaire, en se basant sur des comparaisons d'imagerie pré et post test. Pour cela, la mesure de l'épaisseur musculaire par image ultrasons (US) et le calcul du ratio d'activation peuvent être utilisés. Des scans sont réalisés par un appareil à ultrasons afin d'évaluer l'épaisseur musculaire des muscles du pied. Suite au placement de l'appareil sur des points standardisés pour les tests, les mesures sont faites au cours de différents exercices. Cette technique a été validée et considérée comme fiable. Le ratio d'activation correspond à la mesure de l'épaisseur musculaire à la contraction par celle au repos. Si le ratio d'activation est supérieur à 1, cela indique une augmentation de l'épaisseur musculaire, et s'il est inférieur à 1 cela indique au contraire une diminution du volume musculaire.

Dans un même ordre d'idée, des images d'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) peuvent être prises afin de mettre en évidence la surface de section transversale des muscles (CSA : cross-sectional area). Ces images sont comparées et un ratio d'activation musculaire est calculé afin de mettre en évidence le pourcentage d'activation musculaire pré et post test. Ce pourcentage d'augmentation de l'activation correspond au pourcentage d'activation musculaire post-exercice auquel est soustrait le pourcentage d'activation musculaire pré-exercice. Parmi les études incluses, 2 ont utilisé des ratios d'activation musculaire afin de mettre en évidence la force musculaire.

Il est également possible d'effectuer une simple mesure de la surface de section transversale des muscles via une machine d'ultrasons et de calculer la différence avant et après le protocole de renforcement. Ces mesures ont été appliquées dans 2 études afin d'évaluer la modification du volume musculaire.

Une étude a mesuré la force de contraction musculaire par le biais d'un électromyogramme enregistrant la force de contraction isométrique maximale (MVIC : Maximum Voluntary Isometric Contraction) selon les différents exercices, établissant ainsi un pourcentage de MVIC.

Par ailleurs, l'utilisation d'un dynamomètre est un moyen simple et efficace pour évaluer la force musculaire globale des muscles intrinsèques du pied. Il est difficile toutefois d'être sélectifs quant aux muscles testés. 2 études ont utilisé cet outil de mesure.

3.2.3. Mesure des résultats pour le critère de jugement secondaire : performance

Différents tests et échelles sont utilisés afin d'évaluer la performance.

La performance peut être évaluée par l'équilibre statique ; deux études ont examiné cette capacité. Tout d'abord l'Intrinsic Foot Muscle Test (IFMT) permet d'évaluer la capacité du sujet de contrôler la position du naviculaire en utilisant la musculature intrinsèque du pied. Pour cela le sujet se place debout et peut s'il le veut maintenir son équilibre contre un mur, puis élève l'arche médiale longitudinale (comme pour le short foot exercise) afin d'amener l'articulation sous-talienne en position neutre. Le patient doit ensuite tenir 30 secondes sur un pied, sans faire intervenir la musculature extrinsèque (le thérapeute doit pouvoir soulever passivement les orteils), puis répéter la mesure sur l'autre pied. Le test est qualifié de satisfaisant, correct ou faible en fonction de l'intervention des muscles extrinsèques et de la stabilité de la hauteur du naviculaire sur le temps du test. Une seule étude a utilisé ce test pour évaluer l'équilibre statique. (Jam, 2004) Une autre étude a évalué l'équilibre statique en demandant au patient de tenir 30 secondes sur un pied sans solliciter ses membres supérieurs ou l'autre membre inférieur pour maintenir l'équilibre.

Parmi les études incluses, 3 d'entre elles ont évalué l'équilibre dynamique des patients via le Star Excursion Balance Test (SEBT) ou sa version modifiée. Le SEBT est un test fiable validé pour prédire les risques de pathologies du membre inférieur, évaluer les capacités des participants dans un programme ou encore identifier les déficiences en termes d'équilibre dynamique des patients. Il est demandé au sujet de se placer

sur un pied au centre d'une étoile et d'atteindre le point le plus loin possible avec le pied sans appui dans 5 directions : antérieure, antéro-médiale, médiale, postéro-médiale et postérieure. Les distances maximales sont relevées et notées par les investigateurs. Le SEBT modifié ou Y-balance test reprend le même schéma en étoile mais dans seulement 3 directions différentes : antérieure, postéro-latérale et postéro-médiale. Le patient doit atteindre la distance calculée en fonction de la longueur de sa jambe, et un pourcentage de la distance atteinte est retenu à la fin du test. (Gribble, Hertel, & Plisky, 2012)

La performance motrice a été recherchée dans une étude et évaluée par un thérapeute selon l'échelle adaptée de Bérard ; 0 correspondant à une position de départ non maintenue ou un mouvement non initié, 1 étant la réalisation partielle de l'exercice, 2 étant la réalisation complète de l'exercice avec des compensations, une lenteur ou une maladresse, et 3 correspondant à la réalisation complète et correcte de l'exercice. (Bérard, Payan, Hodgkinson, Fermanian, & The MFM Collaborative Study Group, 2005; Fraser & Hertel, 2018)

Par ailleurs, des évaluations plus fonctionnelles répondent au critère de performance. Tout d'abord l'étude de la cinématique de la marche a été investiguée afin de mettre en évidence la performance dans 2 études. Dans les essais de marche, les paramètres suivants ont été relevés : vitesse de la marche, durée de la phase d'appui, hauteur minimale atteinte par l'os naviculaire, moment où l'os naviculaire atteint cette hauteur, angle formé par l'avant et l'arrière-pied, angle formé par l'arrière-pied et le tibia, position de la cheville à ce moment-là, forces de réaction au sol maximale (dans les directions antérieure, médiale et verticale) lors de la deuxième moitié de la phase d'appui. (Okamura, Kanai, Fukuda, et al., 2018; Okamura, Kanai, Hasegawa, Otsuka, & Oki, 2018)

De plus, le Functional Movement Screen (FMS) test est une évaluation comprenant 7 items et estimant la qualité des mouvements fondamentaux. Elle permet d'évaluer les capacités d'équilibre, de mobilité, de force et de coordination des mouvements. Les schémas de mouvements fondamentaux comprennent : deep squat (squat complet), hurdle step (passage de haie/obstacle), in-line lunge (fente en avant), shoulder mobility (mobilité de l'épaule), active straight leg raise (lever de jambe actif), trunk stability push up (stabilité du tronc en position de pompe), rotary stability (stabilité

rotatoire du tronc). Chaque mouvement est évalué sur une échelle de 0 à 3, le score maximal étant de 21. (G. Cook, Burton, & Hoogenboom, 2006a, 2006b)

Enfin, des tests dynamiques fonctionnels ont été mis en place pour évaluer la performance ; le 1-legged long jumping (saut en longueur sur 1 pied) basé sur la méthode de mesure du standing broad jump (test proposé par le Ministère de l'Education, de la Culture, des Sports, des Sciences et de la Technologie au Japon), le vertical jumping (saut en hauteur) et le 50-m dash time mesurant le temps mis pour parcourir 50 mètres. (Hashimoto & Sakuraba, 2014)

Pour finir, la fatigue est un élément intéressant à prendre en compte dans le cadre de la performance. Une étude a mesuré la fatigue des muscles intrinsèques du pied représentative de l'endurance. Cette fatigue est la différence des mesures statiques du Navicular Drop avant et après un exercice de course à pied, pieds nus, sur tapis pendant 20 minutes à 1° d'inclinaison. (Ebrecht & Sichtung, 2018)

3.3.Effets de l'intervention sur le critère de jugement principal : position de l'arche médiale longitudinale

3.3.1. Short-foot exercise

Dans cette revue, 6 études ont évalué la posture de l'arche médiale longitudinale après avoir réalisé des exercices de type Short-foot exercise. Les résultats montrent une amélioration significative de la posture de l'arche représentée par les valeurs du drop de l'os naviculaire, de la hauteur et de l'angle formé par l'arche et des items du Foot Posture Index. (Annexes 5 et 9)

Dans un premier temps l'étude de Mulligan présente une diminution significative du drop naviculaire, au Navicular Drop test (NDT) ($p=0,04$), correspondant à une réduction de la chute de l'os naviculaire, entre la mesure prise avant l'intervention puis celle après 4 semaines d'entraînement quotidien à raison de sessions de 3 minutes. Il apparaît que les effets sont maintenus 4 semaines encore après l'arrêt de l'entraînement. (Mulligan & Cook, 2013)

En revanche, il n'y a pas de différence significative mise en évidence par le Navicular Drop Test modifié dans l'étude de Lynn, qui propose également un programme sur 4 semaines à raison de 100 répétitions par jour, et ce, pour la jambe dominante ($p=0,265$) comme pour la jambe non dominante ($p=0,752$). (Lynn et al., 2012)

Dans l'étude de Kim, le groupe d'intervention réalise 3 sessions de 30 minutes par semaine pendant 5 semaines de Short-foot exercise ; les mesures du Navicular Drop test montrent une différence significative entre le groupe contrôle (présentant des semelles de support de l'arche) et le groupe d'intervention SFE ($p<0,05$), de même qu'il y a une diminution significative du drop entre la mesure initiale et celle après l'entraînement pour le groupe d'intervention ($p<0,05$). (Kim & Kim, 2016)

La mesure de l'Arch Height Index (AHI) (Annexe 6) dans l'étude de Mulligan est en accord avec les résultats du NDT ; il y a une différence significative entre la mesure initiale et la fin de la 4^{ème} semaine d'entraînement ($p=0,03$), qui perdure un mois après l'arrêt des exercices. (Mulligan & Cook, 2013)

L'étude de Jung quant à elle, comparant l'arche médiale longitudinale lors des exercices de Toe-curl ou de Short-foot réalisés à raison de 15 minutes par jour pendant 2 semaines, révèle un angle de l'arche médiale longitudinale significativement plus petit pour le SFE que pour le TCE et ce en position assise ($p=0,001$) ou debout sur une jambe ($p<0,001$). Cette diminution de l'angle traduit un rehaussement de l'arche médiale longitudinale. Il n'y a en revanche pas de différence significative de cet angle entre la position assise ou debout sur une jambe pour le SFE ($p=0,251$). (Jung, Kim, et al., 2011)

Enfin, dans l'étude de Sulowska, le groupe réalisant le Short-foot exercise pendant 6 semaines présente une différence significative pour l'item d'inversion/éversion du calcaneum du Foot Posture Index, indiquant une diminution de la pronation du pied qui se place dans une position plus neutre. (Sulowska et al., 2016a)

3.3.2. Autres exercices de renforcement

La réalisation d'autres exercices d'entraînement de la musculature intrinsèque du pied semble être également à l'origine d'une amélioration significative de la posture de l'arche médiale longitudinale. (Annexes 5 et 9)

Dans le cas du Toe-curl exercise (ou Towel-curl exercise), réalisé 15 minutes par jour pendant 2 semaines dans l'étude de Jung, l'angle de l'arche médiale longitudinale (MLA) est significativement plus important lorsque l'exercice est réalisé en position debout sur une jambe plutôt qu'assis ($p < 0,001$), mais les résultats restent significativement plus petits que ceux du short-foot exercise. (Jung, Kim, et al., 2011) Par ailleurs, dans l'étude d'Hashimoto, il y a une diminution significative des longueurs des arches longitudinale ($p < 0,01$) et transversale ($p < 0,01$) après un programme d'entraînement de 200 répétitions de flexion des orteils contre une charge de 3kg, 3 fois par semaine pendant 8 semaines. Ces résultats indiquent à nouveau un rehaussement de l'arche plantaire. (Hashimoto & Sakuraba, 2014)

Cependant, l'étude de Lynn présentée plus tôt ne montre à nouveau pas de différence significative pour le NDT pour cet exercice. (Lynn et al., 2012)

Pour ce qui est des autres exercices présentés dans l'étude de Sulowska que sont le Vele's Forward Lean et le Reverse Tandem Gait, le groupe réalisant ces entraînements pendant 6 semaines présente une amélioration significative concernant l'item de la palpation de la tête du talus du Foot Posture Index ($p = 0,001$), ce qui semble indiquer une évolution de la position en pronation du pied vers une position plus neutre. (Sulowska et al., 2016a)

3.3.3. Electrostimulation neuromusculaire

Les résultats sur la posture de l'arche de l'électrostimulation neuromusculaire (NMES) sont partagés. En effet, 2 études semblent indiquer qu'il n'y a pas de différence significative sur la posture avant et après l'utilisation de l'électrostimulation neuromusculaire, tandis que 2 autres mettent en évidence une amélioration.

Dans un premier temps, l'étude d'Ebrecht propose un protocole sur 8 semaines à raison de 2 sessions de 15 minutes d'électrostimulation par semaine, et met en évidence par le Navicular Drop test l'absence de différence significative entre le groupe d'intervention NMES, le groupe contrôle et un troisième groupe réalisant un protocole de running ($p=0,073$). (Ebrecht & Sichtung, 2018)

De même, dans l'étude d'Okamura sur les effets de l'activation des muscles intrinsèques sur la cinématique du pied chez les sujets avec des pieds plats, il n'y a pas de différence significative de la hauteur du naviculaire après le protocole d'électrostimulation ($p=0,90$). (Okamura, Kanai, Fukuda, et al., 2018)

Toutefois, l'étude de Fourchet et l'étude d'Okamura sur les effets de l'activation des muscles intrinsèques sur la cinématique du pied pendant la marche présentent des résultats contraires. Un groupe d'athlètes a effectué 3 séances hebdomadaires d'électrostimulation neuromusculaire pendant 15 minutes en plus de leur entraînement quotidien pendant 3 semaines dans l'étude de Fourchet ; il apparaît une diminution significative de la chute de l'os naviculaire (évaluée par le Navicular Drop test) entre la valeur initiale pré-test et la valeur après l'intervention à 3 semaines ($p<0,01$). De même, cette différence significative est maintenue entre la valeur pré-test et la valeur post-test 2 prise à 6 semaines du début de l'intervention ($p<0,01$), témoignant d'un maintien de l'effet 3 semaines après l'arrêt de l'électrostimulation. (Fourchet, Kilgallon, Loepelt, & Millet, 2009)

Enfin, dans l'étude d'Okamura étudiant la marche, il y a une augmentation significative de la hauteur de l'os naviculaire après application d'électrostimulation neuromusculaire en comparaison aux valeurs initiales ($p=0,04$). (Okamura, Kanai, Hasegawa, et al., 2018)

3.4.Effets de l'intervention sur le critère de jugement secondaire : force musculaire

3.4.1. Short-foot exercise

Cinq études ont évalué la force musculaire à la suite de la réalisation du Short-foot exercise ; il semblerait aux vues des résultats que cet exercice améliore significativement la force des muscles intrinsèques du pied. (Annexes 5 et 9)

L'étude de Gooding évaluant les ratios d'activation musculaire par Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) indique une augmentation significative de l'activation du muscle carré plantaire de 16,7% et du muscle abducteur du 5^{ème} orteil de 34,9% après 40 répétitions du Short-foot exercise. (Gooding et al., 2016)

L'étude de Jung quant à elle évalue les effets des orthèses plantaires associées ou non à un protocole de renforcement de la musculature intrinsèque du pied via le short-foot exercise chez les patients présentant des pieds plats. Les patients ont réalisé 3 séries d'exercices, à raison de 2 fois par jour pendant 8 semaines : à la mesure de la surface de section transversale du muscle abducteur de l'hallux, il apparaît que cette dernière est significativement augmentée dans les groupes avec et sans renforcement, mais présente une augmentation significativement plus importante dans le groupe SFE ($p=0,008$) que dans le groupe avec des orthèses seules. (Jung, Koh, & Kwon, 2011)

Dans cette même étude chez les patients avec des pieds plats, la force musculaire du fléchisseur de l'hallux est évaluée par un dynamomètre et est significativement augmentée dans le groupe SFE avec orthèse comme dans le groupe avec orthèses seules, mais l'augmentation est significativement plus importante dans le groupe réalisant le SFE. (Jung, Koh, et al., 2011)

Enfin, l'autre étude de Jung effectuant la comparaison de l'activité musculaire entre le Toe-curl exercise et le Short-foot exercise mesure la force musculaire de l'abducteur de l'hallux à l'aide d'un électromyogramme. Il apparaît que l'activité musculaire est significativement plus grande pour le SFE que pour le TCE en position assise et debout sur une jambe $p<0,001$; de plus, il y a une augmentation significative de l'activité

musculaire pour le SFE entre la position assise et debout $p < 0,001$. (Jung, Kim, et al., 2011)

3.4.2. Autres exercices de renforcement

Les exercices autres que le SFE semblent également augmenter de façon significative la force des muscles intrinsèques du pied.

Dans l'étude de Fraser les patients ont réalisé un programme de renforcement sur 4 semaines incluant selon une progression les exercices suivants : Toe-spread-out, Hallux-extension, Lesser-toe-extension et SFE. Les résultats présentent une amélioration significative du ratio d'activation musculaire mesuré par ultrasons, représentant l'activation de l'abducteur de l'hallux, lors du toe-spread-out exercice pour le groupe d'intervention mais également pour le groupe contrôle ($p = 0,05$). Les autres exercices ou muscles, ne voient pas d'amélioration significative de leurs ratios musculaires que ce soit dans les groupes d'intervention ou de contrôle. (Fraser & Hertel, 2018)

L'étude de Gooding décrite précédemment évalue ces mêmes exercices. Le ratio d'activation musculaire est significativement augmenté de 17,3% pour les muscles interosseux et lombricaux et de 35,2% pour l'abducteur du 5^{ème} orteil au cours du Toe-spread-out exercice. De même, ce ratio augmente de manière significative pour les muscles court fléchisseur de l'hallux (13,1%) et court fléchisseur des orteils (18,1%) après l'Hallux-extension exercice ; il s'agit de la valeur la plus basse enregistrée pour le court fléchisseur de l'hallux et la plus haute pour le court fléchisseur des orteils. Enfin il y a une augmentation significative du ratio d'activation des muscles interosseux et lombricaux (8,9%) et l'abducteur du 5^{ème} orteil (22,5%). (Gooding et al., 2016)

Une dernière étude montre une augmentation significative de la force musculaire à droite et à gauche ($p < 0,01$) ; il s'agit de l'étude d'Hashimoto qui propose un exercice de type Toe-curl contre une charge.

Pour finir, dans l'étude de Jung présentée précédemment et comparant le SFE et le TCE, il apparaît qu'il n'y a pas de différence significative de l'activité musculaire pour

le TCE entre la position assise et debout sur une jambe ($p=0,016$), laissant penser que les autres exercices ne sont pas aussi efficaces que le SFE.

3.4.3. Electrostimulation neuromusculaire

Une seule étude investigate la force musculaire suite à l'utilisation d'un programme d'électrostimulation neuromusculaire. Dans cette étude d'Ebrecht, la surface de section transversale de l'abducteur de l'hallux est mesurée, cependant les résultats ne montrent pas de différence significative entre les 3 groupes évalués (NMES, contrôle, running) où $p=0,203$. (Ebrecht & Sighting, 2018)

3.5. Effets de l'intervention sur le critère de jugement secondaire : performance

3.5.1. Short-foot exercise

Cinq études ont évalué la performance des patients suite à un programme d'entraînement incluant le SFE ; les résultats semblent indiquer une amélioration significative de la performance après cette intervention. (Annexes 5 et 9)

Deux études ont évalué l'équilibre statique des patients après 4 semaines d'entraînement quotidien ; l'étude de Mulligan évalue cet équilibre via l'Intrinsic Foot Muscle Test et l'étude de Lynn via une mesure simple d'équilibre sur une jambe. L'étude de Mulligan tout d'abord met en évidence une différence significative entre la valeur initiale et la valeur à la fin de l'entraînement et jusqu'à un mois après l'arrêt du programme ; sur 42 pieds de patients, 25 (59%) ont amélioré leur grade de performance, 15 (36%) n'ont rien changé et 2 (5%) ont eu un moins bon score. Toutefois l'étude de Lynn ne montre pas de tels résultats puisqu'il n'y a pas de différence significative mise en évidence de l'équilibre statique sur la jambe dominante ($p=0,309$) ou non dominante ($p=0,650$) après le programme de SFE. (Lynn et al., 2012; Mulligan & Cook, 2013)

Ces deux études évaluent également l'équilibre dynamique des patients ; Mulligan utilise le Star Excursion Balance test tandis que Lynn utilise la version modifiée du test,

qui est le Y-balance test. Dans l'étude de Mulligan il y a une augmentation significative de la distance atteinte dans les différentes directions entre la mesure initiale et la fin de l'entraînement et jusqu'à un mois après l'arrêt des exercices, sauf pour la direction antérieure où $p=0,075$. De plus la seule différence significative notable entre la fin de l'entraînement et la mesure prise un mois après concerne la direction postéro-médiale, les autres directions ne voyant pas de différence significative. L'étude de Lynn quant à elle met en évidence pour le membre dominant une diminution significative du mouvement médio-latéral du centre de pression pour les 3 groupes ($p<0,01$), c'est-à-dire le groupe SFE, le groupe TCE et le groupe contrôle, ainsi que pour le membre non-dominant mais seulement pour les groupes SFE et TCE ($p<0,017$). (Lynn et al., 2012; Mulligan & Cook, 2013) La performance de l'équilibre dynamique est également évaluée par le Y-balance test dans l'étude de Kim, qui met en évidence une augmentation significative pour le groupe SFE par rapport au groupe contrôle (portant des orthèses de support plantaire) ($p<0,05$). (Kim & Kim, 2016)

Dans l'étude de Sulowska, le Functional Movement Screen test est utilisé pour évaluer la performance ; les items proposés permettent de définir les capacités fonctionnelles des patients. Il n'y a cependant pas d'amélioration significative du score notable pour le groupe réalisant le Short-foot exercise ($p=0,063$) malgré une amélioration du score (de 15 à 17 points). (Sulowska et al., 2016a)

Enfin, l'étude de Fraser utilise l'échelle de Bérard pour évaluer la performance motrice ; les résultats ne montrent toutefois pas d'amélioration significative pour cet exercice. (Fraser & Hertel, 2018)

3.5.2. Autres exercices de renforcement

Les études ayant pour intervention le Toe-curl exercise présentent des résultats partagés par rapport au critère de jugement qu'est la performance. Comme énoncé précédemment, l'étude de Lynn évalue l'équilibre dynamique et met en évidence une diminution significative du mouvement pour le membre dominant comme pour le membre non dominant pour le groupe TCE ($p<0,017$ pour le membre non-dominant). Toutefois il n'y a pas de différence significative notable pour l'équilibre statique sur la jambe dominante comme sur la jambe non-dominante pour le TCE. (Lynn et al., 2012)

L'étude d'Hashimoto présentant une version modifiée du TCE (flexion des orteils contre une charge de 3kg) propose une évaluation fonctionnelle basée sur la distance du 1-legged long jumping et la hauteur du vertical jumping qui montrent une amélioration significative (respectivement $p < 0,01$ et $p < 0,05$). De même, il y a une diminution significative du temps du 50-m dash time ($p < 0,01$). Ces valeurs mettent en évidence l'amélioration de la performance suite au programme d'exercice. (Hashimoto & Sakuraba, 2014)

Par ailleurs, l'étude de Sulowska présente un groupe réalisant le Vele's Forward Lean exercise et le Reverse Tandem Gait, pour lequel il est possible de voir une amélioration significative de schémas des mouvements du Functional Movement Screen test pour deux items : deep squat ($p = 0,007$) et lever de jambe actif ($p = 0,001$). (Sulowska et al., 2016a)

Enfin, l'échelle de Bérard est à nouveau utilisée dans l'étude de Fraser, pour évaluer le Toe-spread-out exercise, l'hallux-extension et le lesser-toe-extension. Il y a une amélioration significative de la performance motrice pour le toe-spread-out exercise dans le groupe d'intervention ($p = 0,008$) mais les autres exercices ne montrent pas d'amélioration significative de la performance motrice entre le groupe traité et le groupe contrôle. (Fraser & Hertel, 2018)

3.5.3. Electrostimulation neuromusculaire

Les protocoles d'électrostimulation neuromusculaire (NMES) semblent peu impacter la performance ; dans les deux études d'Okamura, la cinématique de la marche est évaluée. Dans l'étude sur l'effet de l'activation des muscles intrinsèques pendant la marche, le moment où l'os naviculaire atteint sa hauteur minimum arrive significativement plus tard dans le groupe d'intervention par rapport au groupe contrôle ($p = 0,02$). De plus, il y a une réduction significative à ce moment de l'abduction de l'angle de l'avant pied par rapport à l'arrière pied (plan transversal) dans le groupe NMES mais pas dans les autres plans ($p = 0,0002$). A cela s'ajoute une diminution significative de la force de réaction maximale du sol dans le plan vertical dans le groupe NMES ($p = 0,03$). Ces valeurs indiquent une modification de la cinématique lors de l'activation spécifique et stimulée des muscles intrinsèques du pied. Les résultats sont similaires dans l'autre étude d'Okamura investiguant l'activation des muscles

intrinsèques chez les patients avec des pieds plats. Comme pour la première étude, il n'y a pas de différence significative de la vitesse de marche. En revanche, il y a une différence significative de la durée de la phase d'appui du groupe NMES ($p=0,01$). De plus, le moment où l'os naviculaire atteint sa valeur minimale intervient significativement plus tard dans le groupe NMES que dans le groupe contrôle ($p=0,03$). A ce même moment, il y a une réduction significative de l'angle d'éversion (plan frontal) correspondant à l'angle relatif à l'arrière pied ($p=0,02$), et une diminution significative de l'abduction de l'arrière pied relative au tibia (plan transversal) dans le groupe NMES ($p=0,01$). (Okamura, Kanai, Fukuda, et al., 2018; Okamura, Kanai, Hasegawa, et al., 2018)

Pour finir, la fatigue est évaluée dans l'étude d'Ebrecht, par le calcul de la différence des valeurs au Navicular Drop test avant et après un exercice de course sur tapis. La fatigue est en effet un élément participant à la performance des patients ; il apparaît toutefois qu'il n'y a pas de différence significative entre les 3 groupes investigués (NMES, contrôle, running) et $p=0,892$. (Ebrecht & Sichtung, 2018)

4. Discussion

4.1. Analyse des principaux résultats

L'analyse des résultats permet de répondre à l'objectif de la revue qui est de démontrer les effets du renforcement des muscles intrinsèques sur la position de l'arche médiale longitudinale, ainsi que la force musculaire et la performance.

En ce qui concerne la posture du pied, il apparaît que le renforcement de la musculature intrinsèque du pied est efficace de manière significative puisque la posture du pied représentée notamment par la position de l'arche médiale longitudinale est modifiée. Ces résultats concordent avec les données de la littérature qui évaluent le rôle et les capacités fonctionnelles des muscles intrinsèques précédemment citées. (Fiolkowski et al., 2005, 2003; Headlee et al., 2008; McKeon & Fourchet, 2015)

Dans le cadre du Short-foot exercise les résultats tendent à montrer l'efficacité significative du renforcement des muscles intrinsèques sur la posture. En effet, l'étude de Kim met en évidence une différence significative de la hauteur naviculaire (évaluée par le NDT) entre le groupe effectuant le SFE et le groupe « contrôle » portant des semelles de support de l'arche, mais également une différence entre la mesure initiale et la fin du programme pour le groupe SFE. Ces résultats mettent en lumière l'intérêt du contrôle actif et sensori-moteur pour le maintien de l'arche plantaire plutôt que le simple maintien mécanique des semelles. Ils restent toutefois à considérer avec précaution puisqu'ils traitent d'une population spécifique avec des pieds plats ; en effet, il est possible que les résultats chez les patients ayant des pieds plats soient augmentés puisqu'ils présentent probablement un déficit initial plus important que chez les personnes saines. De plus, l'étude présente une faiblesse méthodologique non négligeable, laissant les résultats à interpréter avec prudence. (Kim & Kim, 2016)

Lors de la comparaison du SFE et du Toe-curl exercise (TCE) dans l'étude de Jung, il apparaît que l'angle de l'arche médiale longitudinale est significativement plus petit en position assise et debout sur une jambe pour le SFE que pour le TCE, c'est-à-dire que la hauteur naviculaire est augmentée. Il existe donc une différence de résultats entre ces deux exercices, bien qu'ils aient tous les deux des résultats significatifs, mais le SFE semble être plus efficace pour le soutien de l'arche. Il semble que la position influe sur le résultat de l'exercice, puisqu'il y a une différence significative entre la position assise et debout pour le TCE ; la charge supplémentaire imposée par la position debout sur une jambe stimule d'autant plus le travail des muscles intrinsèques. Cependant il n'y a pas de différence significative entre ces différentes positions d'exercice pour le SFE ; ces résultats pourraient s'expliquer par l'activation musculaire permettant le contrôle et le maintien de l'arche quelle que soit la position. (Jung, Kim, et al., 2011)

L'étude de Sulowska confirme les résultats de l'efficacité du SFE sur la posture du pied. Les résultats présentent une amélioration significative de l'item d'inversion/éversion du calcaneum pour le Foot Posture Index (FPI), correspondant à une verticalisation du calcaneum à la suite de ce programme d'intervention. Toutefois les autres items demeurent inchangés. De plus, l'autre groupe réalisant les exercices du Vele's Forward Lean et du Reverse Tandem Gait sont également à l'origine d'une amélioration significative d'un autre item du FPI qui est la palpation de la tête talienne ;

après l'intervention la tête talienne est repositionnée dans une position plus neutre. Ces résultats démontrent une diminution de la pronation du pied ; les auteurs suggèrent que cette pronation puisse être à l'origine de pathologies et que les trois types d'exercices peuvent avoir une influence sur la posture intéressante. Toutefois il est à noter que l'absence de groupe contrôle limite les résultats de l'étude, qui peuvent également être biaisés par le fait que la population soit saine et sportive. Enfin, le Vele's Forward Lean exercise et le Reverse Tandem Gait sollicitent également la musculature extrinsèque du pied ; les résultats sont donc à interpréter avec précaution. (Sulowska, Oleksy, Mika, Bylina, & Sołtan, 2016b)

Les résultats de l'étude d'Hashimoto abondent dans l'hypothèse de l'efficacité du TCE puisqu'il est présenté une diminution significative des longueurs longitudinale et transversale de l'arche entre le début et la fin de l'intervention, correspondant à la formation de l'arche. Ces modifications posturales seraient liées à l'augmentation de la force musculaire, suggérant l'efficacité du renforcement sur la posture. Toutefois, ces résultats sont à nouveau à considérer avec prudence aux vues de la faiblesse méthodologique. (Hashimoto & Sakuraba, 2014)

L'étude de Lynn présente des résultats intéressants sur la posture du pied. En effet, il n'y a pas de différence significative du drop dans le groupe contrôle mais également après entraînement des muscles intrinsèques, que ce soit via le SFE ou le TCE, tant pour la jambe dominante que pour la jambe non-dominante. Les auteurs suggèrent que les tâches imposées ne sont pas assez complexes et ne stimulent pas suffisamment la musculature intrinsèque du pied pour révéler une différence pré et post test. De même, il est probable que les IFM aient une force suffisante et un contrôle neuro-moteur efficient avant l'intervention, ne nécessitant pas d'entraînement. (Lynn et al., 2012)

Au contraire, l'étude de Mulligan présente une diminution significative du drop ainsi qu'une différence significative de l'AHl, entre le début de l'intervention et la fin, mais également un mois après l'arrêt du programme. Les effets semblent perdurer dans le temps. Toutefois entre la fin de l'intervention et la mesure prise un mois après l'arrêt, la différence n'est pas significative ; il semblerait que les effets du renforcement des IFM stagnent. Une diminution de la chute naviculaire pourrait s'expliquer par le

renforcement via le SFE des muscles intrinsèques, maintenant l'arche plantaire. (Mulligan & Cook, 2013)

En ce qui concerne l'électrostimulation neuromusculaire (NMES : neuromuscular electrostimulation), les études sont partagées quant à son efficacité sur la posture de l'arche.

L'étude d'Ebrecht ne montre pas de différence significative lors du Navicular Drop test (NDT) quel que soit le groupe d'intervention (NMES, contrôle ou running). Les auteurs s'interrogent sur la capacité du NDT à représenter la force et le contrôle des muscles intrinsèques, et expliquent en partie ces résultats par la faible taille de l'échantillon. De plus, il est possible de s'interroger sur la durée du traitement (8 semaines) et le nombre de séances par semaine qui est peut-être trop faible pour révéler une différence (2 sessions/semaine). (Ebrecht & Sichtung, 2018)

L'étude de Fourchet au contraire indique une diminution significative de la chute naviculaire, c'est-à-dire un meilleur maintien de l'arche médiale longitudinale, après l'intervention. Les effets semblent maintenus 3 semaines après l'arrêt du programme. Il est à noter que cette étude a été réalisée sur une population d'athlètes de haut niveau et que la récurrence de pathologies a été investiguée ; il semble que pour le groupe ayant reçu le programme NMES il n'y ait pas eu d'apparition de pathologies micro-traumatiques dans les 6 mois qui ont suivi l'intervention alors qu'il y en avait dans les 6 mois précédents. De plus, les sujets du groupe contrôle ont présenté des pathologies micro-traumatiques après l'étude. Ces résultats suggèrent qu'il y a un intérêt préventif à effectuer ce type de programme afin d'éviter l'apparition de pathologies liées à l'hyper-pronation. Toutefois, ces résultats sont à nouveau à considérer prudemment de par la faible taille de l'échantillon ainsi que la population sportive considérée. (Fourchet et al., 2009)

L'étude d'Okamura sur les effets de l'activation des muscles intrinsèques sur la dynamique du pied pendant la marche met en évidence une amélioration significative de la hauteur naviculaire en position debout statique du groupe ayant reçu une électrostimulation neuromusculaire. Ces résultats ne se recoupent pas avec l'autre étude d'Okamura sur les effets de l'activation des muscles intrinsèques sur la cinématique du pied chez les patients avec des pieds plats, puisqu'il n'y a pas de

différence significative de la hauteur de l'os naviculaire. Les auteurs expliquent ces différences par l'hypo-fonction des autres structures de l'arche, et non des muscles intrinsèques. Le renforcement des ces muscles serait donc moins efficace chez des patients avec des pieds normaux. (Okamura, Kanai, Fukuda, et al., 2018; Okamura, Kanai, Hasegawa, et al., 2018)

Les interventions de renforcement de la musculature intrinsèque du pied semblent avoir un impact significatif sur la force musculaire.

Tout d'abord l'étude de Fraser, qui analyse le ratio d'activation musculaire du muscle abducteur de l'hallux, met en évidence une augmentation significative de ce ratio pour les groupes d'intervention et de contrôle pour le Toe-Spread-Out exercice mais pas pour les autres exercices (SFE, Hallux-extension, Lesser-toe-extension). Ce résultat va de pair avec celui de la performance motrice abordé ci-après. Toutefois, les mouvements sont le résultat de la coordination de plusieurs muscles travaillant en synergie ; il y a ainsi une variabilité dans l'activation musculaire selon les schémas de mouvement, et une variabilité dans les mesures, ce qui peut expliquer ces résultats. Qui plus est, la mesure par ultra-sons a été réalisée dans une position assise sans appuis, limitant probablement les informations cutanées et participant à la variation de l'activation des muscles intrinsèques pour une même tâche motrice. (Fraser & Hertel, 2018)

L'étude de Gooding quant à elle présente une amélioration significative de l'activation de tous les muscles intrinsèques et pour tous les exercices investigués (SFE, Hallux-extension, Lesser-toe extension, Toe-spread-out exercise). Les pourcentages d'activation relevés pour chaque exercice et pour chaque muscle vont de 8,9% à 35,2%. Les muscles activés selon les exercices ont ainsi pu être identifiés ; les résultats montrent que quelle que soit la tâche motrice demandée, tous les muscles intrinsèques sont activés. Cela suppose une unité fonctionnelle de ces muscles pendant une activité ce qui les rend difficiles à isoler. Toutefois il est à considérer que ces résultats sont ceux d'une population jeune et sportive et qu'il faudrait rechercher l'activation des muscles intrinsèques au sein d'une population plus âgée ou malade. (Gooding et al., 2016)

L'étude de Jung comparant l'activité musculaire de l'abducteur de l'hallux pendant le Toe-curl exercise et le Short-foot exercise met en évidence une activité musculaire significativement plus grande pour le SFE que pour le TCE, parallèlement à une diminution de l'angle de l'arche médiale longitudinale. Il semble alors que l'activation des muscles intrinsèques soit plus importante afin de prévenir la chute naviculaire. De plus, il y a une augmentation de l'activation musculaire entre la position assise et la position debout sur une jambe pour le SFE ; ceci met en évidence le rôle de la posture dans l'activation du muscle abducteur de l'hallux. Cela suggère que les exercices doivent se faire en position debout ou lors d'une tâche plus complexe. Il est à noter que cette étude se concentre sur le muscle abducteur de l'hallux et ne compare pas l'activité des autres muscles intrinsèques, de même qu'elle ne prend pas en compte l'intervention potentielle des muscles extrinsèques. (Jung, Kim, et al., 2011)

L'autre étude de Jung sur l'effet des semelles et du Short-foot exercise chez une population de patients avec des pieds plats a évalué la surface de section transversale de l'abducteur de l'hallux ainsi que sa force à l'aide d'un dynamomètre. Il y a une augmentation significative de la surface de section transversale de l'abducteur de l'hallux pour le groupe « contrôle » (semelles seules) et pour le groupe d'intervention (semelles et short-foot exercise). Les résultats sont similaires après la mesure de la force avec le dynamomètre. Dans les deux cas, le groupe pratiquant le SFE a des résultats plus importants que celui avec les semelles seules. Il semble que les effets des semelles, souvent utilisées, soient dus à la position de repos que prend l'arche lors du port de la semelle, qui replace le pied dans un alignement correct et restaure la longueur initiale de l'abducteur de l'hallux. Toutefois les auteurs préconisent le renforcement des muscles intrinsèques qui améliorent d'autant plus la posture de l'arche et la force musculaire de l'abducteur de l'hallux. (Jung, Koh, et al., 2011)

L'étude d'Hashimoto met en évidence une augmentation significative de la force musculaire des deux membres inférieurs. L'évaluation s'est faite avec un dynamomètre, avant un programme de Toe-curl exercise. Ces résultats doivent être interprétés avec précaution puisque cet exercice sollicite la musculature extrinsèque du pied, malgré la position d'évaluation en flexion plantaire de la cheville. Les auteurs suggèrent que ces résultats sont le fruit d'une adaptation neurologique plus que d'une adaptation musculaire. (Hashimoto & Sakuraba, 2014)

Enfin, l'étude d'Ebrecht ne présente à nouveau pas de différence significative en ce qui concerne la force musculaire après un programme d'électrostimulation neuromotrice ; les auteurs expliquent cela par la présence d'un petit effectif de patients sains. Il est possible que des effets soient plus visibles chez une population présentant une pathologie ou une faiblesse du système. Une autre explication est celle du nombre de séances effectuées qui est de 2 dans l'étude, probablement trop faible. Enfin, le changement de position lors de l'exercice, par exemple en station debout, ou la pratique d'une activité physique permettrait une augmentation de la charge et un travail conséquent pour les muscles intrinsèques du pied. (Ebrecht & Sichtung, 2018)

Comme pour la force musculaire, les résultats concernant la performance motrice sont partagés, mais semblent globalement aller vers une amélioration significative après un programme d'entraînement de la musculature intrinsèque.

Dans l'étude de Mulligan, l'équilibre statique évalué par l'Intrinsic Foot Muscle test, et l'équilibre dynamique évalué par le Star Excursion Balance test, semblent être améliorés de manière significative après 4 semaines d'entraînement de Short-foot exercise. Cependant, après l'arrêt des exercices il n'y a plus de différence significative notable. Le renforcement et l'entraînement des muscles intrinsèques du pied jouent ainsi un rôle dans la performance et le contrôle du mouvement. (Mulligan & Cook, 2013)

L'étude de Lynn ne met pas en évidence de différence significative de l'équilibre statique sur la jambe dominante comme sur la jambe non-dominante. Toutefois il est probable que les tâches statiques ne demandent pas un travail suffisamment important aux muscles intrinsèques pour révéler une différence dans une population saine ; il serait intéressant d'effectuer les mêmes mesures auprès d'une population âgée ou malade. Comme il l'a été précisé précédemment, il est également probable que les muscles intrinsèques aient une force suffisante et une conduction neurale performante avant l'intervention, ne permettant pas de mettre en évidence une différence. En revanche, en ce qui concerne l'équilibre dynamique évalué par le Y-Balance test, il y a une diminution significative du mouvement pour le membre dominant pour les 3 groupes (SFE, Toe-curl exercise et contrôle), incluant le groupe contrôle. Ce résultat inattendu mettant en évidence une diminution du mouvement du centre de pression, une augmentation du contrôle et par extension une augmentation de la performance,

s'explique à nouveau par la capacité des muscles, antérieure à l'entraînement proposé. En effet, le membre dominant chez une population saine et sportive ne nécessite probablement pas d'entraînement particulier pour améliorer sa performance motrice ; il suffit d'une tâche complexe sur une jambe pour stimuler les muscles intrinsèques. Une autre hypothèse est celle que la tâche demandée n'est pas assez difficile pour révéler une différence significative sur ce membre dominant. Il nécessiterait peut-être de proposer des tâches plus dynamiques. En ce qui concerne le membre non-dominant, il y a une amélioration significative pour les groupes d'intervention mais pas pour le groupe contrôle. Il apparaît que le groupe pratiquant le SFE ait des résultats augmentés par rapport au groupe pratiquant le TCE ; le SFE est plus efficace puisqu'il parvient à isoler les muscles intrinsèques, tandis que le TCE fait intervenir les muscles extrinsèques. Enfin, il est possible que ces résultats soient tels en raison de la multiplicité des activités physiques de la population étudiée, et notamment des activités sportives asymétriques ne sollicitant pas les membres inférieurs de la même manière. (Lynn et al., 2012)

Il existe une amélioration significative de l'équilibre dynamique évalué par le Y-balance test dans l'étude de Kim, et ce pour les deux groupes présentés (groupe SFE et groupe « contrôle » avec des supports d'arche). Les résultats sont similaires pour le groupe avec un support d'arche comme pour le groupe SFE ; ceci s'explique par la diminution de la tension des tissus et de la charge appliquée sur l'arche, résultant d'un positionnement correct de l'arche, soit par l'activité musculaire, soit par le support et la forme induite de l'arche. (Kim & Kim, 2016)

L'étude d'Hashimoto présente des résultats intéressants pour la performance motrice, suite à son programme de renforcement via le Toe-curl exercise. Ces résultats sont à interpréter encore une fois avec précaution puisque cet exercice peut solliciter en partie les muscles extrinsèques ; il apparaît toutefois qu'il y a une augmentation significative de la distance au 1-legged-jump, et de la hauteur au vertical jump. De même il y a une diminution significative de temps au 50-m dash time. Ces résultats laissent penser que le renforcement de la musculature intrinsèque pourrait avoir des bénéfices sur les capacités d'absorption des chocs et les performances motrices. (Hashimoto & Sakuraba, 2014)

Concernant l'étude de Sulowska, il y a une amélioration significative pour le groupe 1 (Vele's Forward Lean et Reverse Tandem Gait exercise) pour deux mouvements qui sont le deep squat et le lever de jambe actif, ainsi qu'une amélioration du score total sur l'échelle du Functional Movement Screen. Ces résultats s'expliquent par le contrôle de la charge appliquée des orteils au talon lors du Reverse Tandem Gait, qui sollicitent les muscles de la chaîne postérieure. Ceci étant, ces exercices ne ciblent pas les muscles intrinsèques du pied et nécessitent le travail musculaire des muscles extrinsèques. De plus, il n'y a pas d'amélioration significative pour le groupe 2 effectuant le Short-Foot exercise, ce qui indique qu'il n'y a pas d'amélioration de la performance dans la réalisation de ces mouvements fondamentaux. (Sulowska et al., 2016b)

L'analyse de la cinématique de la marche dans les deux études d'Okamura, l'une évaluant les effets de l'électrostimulation lors de la marche et l'autre évaluant les mêmes effets chez des patients présentant des pieds plats, révèle des résultats similaires. Dans les deux études, le moment où l'os naviculaire atteint sa hauteur minimale arrive significativement plus tard lors de la phase d'appui dans le groupe d'intervention que dans le groupe contrôle ; ces résultats indiquent un meilleur contrôle des muscles intrinsèques lors de leur stimulation, qui se préparent à absorber les chocs. Pour ce qui est de l'étude de la marche chez les patients sains, ce résultat est en accord avec la diminution des forces de réaction maximale du sol dans le plan vertical. Cette activation musculaire pourrait contribuer à la réduction du stress appliqué sur l'aponévrose plantaire notamment. De plus, il apparaît que lors de la phase d'appui dans les deux études, il y ait des différences significatives de l'abduction de l'avant et l'arrière pied, qui laissent à penser qu'il y a un meilleur contrôle de la pronation du pied, et par extension de la posture de l'arche. (Okamura, Kanai, Fukuda, et al., 2018; Okamura, Kanai, Hasegawa, et al., 2018)

La mesure de la performance motrice par l'échelle de Bérard dans l'étude de Fraser est marquée par une amélioration significative dans le groupe d'intervention pour le Toe-Spread-Out exercise (TSOE), mais pas des autres exercices (SFE, Hallux-extension, Lesser-toe-extension). Il y a en parallèle une nette augmentation de la charge de travail supportée au cours des semaines d'entraînement pour les exercices Hallux-extension et Lesser-toe-extension, mais pas pour le SFE ou le TSOE qui sont des exercices d'une plus grande complexité. Ces résultats faibles concernant la

performance peuvent s'expliquer par l'évaluation de la difficulté perçue par les patients ; il apparaît qu'au cours du programme cette difficulté diminue de manière significative (Echelle de Likert). Il est probable que les patients aient fourni un effort sous-optimal conduisant à une performance motrice plus faible et une perception de la difficulté plus facile. (Fraser & Hertel, 2018)

Enfin, l'étude d'Ebrecht ne montre pas de différence significative pour la fatigue pour les 3 groupes (NMES, contrôle, running) ; après un travail sur tapis de course le drop n'augmente pas de manière significative. L'abaissement de l'arche pourrait alors s'expliquer non pas par la fatigue musculaire mais par la fatigue des structures passives après des mouvements répétés qui déstabilisent l'arche et conduisent à son affaissement. Ces données remettent en question le rôle des muscles intrinsèques dans le support de l'arche. Une autre hypothèse serait que le NDT ne soit pas un test adapté pour mesurer les effets de la fatigue des muscles intrinsèques. (Ebrecht & Sichtung, 2018)

L'analyse de ces études met en évidence la diversité des interventions proposées pour renforcer la musculature intrinsèque du pied, ainsi que la difficulté d'évaluer l'efficacité d'un tel travail. Il est difficile de comparer les programmes proposés qui ne présentent pas les mêmes exercices ou évaluent différemment les critères de jugement. Le renforcement de la musculature intrinsèque du pied semble globalement intéressant et efficace pour la posture de l'arche médiale longitudinale, la force musculaire et la performance. Il semble que l'exercice de renforcement le plus efficace est le Short-foot exercise, puisqu'il permet de mieux cibler la musculature intrinsèque, contrairement aux autres exercices et notamment le Toe-curl, le Vele's Forward Lean et le Reverse Tandem Gait qui sollicitent la musculature extrinsèque. Par ailleurs, il semble que la posture soit directement liée à la force musculaire, et que la position de réalisation de l'exercice influe grandement les résultats. En effet, il est plus intéressant de réaliser les exercices en position debout ou lors d'exercices dynamiques pour majorer la stimulation des muscles intrinsèques. La quantité d'exercice est également importante puisque le nombre de séances pour avoir des résultats significatifs dans le cadre de l'électrostimulation neuronale doit être supérieur à 2 séances par semaine.

Il se pose toutefois la question de l'efficacité réelle chez cette population de patients sains ; le renforcement de la musculature intrinsèque du pied pourrait être plus

conséquent chez une population de patients présentant des pathologies ou des troubles posturaux.

Pour conclure, les effets du renforcement de la musculature intrinsèque du pied sont influencés par le type d'exercice réalisé, la position dans laquelle le renforcement s'effectue, l'intensité des séances et le type de pied initial. Les effets du renforcement seraient probablement supérieurs s'ils étaient réalisés lors de tâches plus fonctionnelles. Toutefois, le renforcement isolé des muscles intrinsèques semble compliqué puisqu'ils agissent en tant qu'unité fonctionnelle, et qu'il est difficile d'exclure le travail des muscles extrinsèques. Par ailleurs, il n'existe pas de moyens d'investigation de la musculature intrinsèque de manière isolée. Il serait intéressant d'investiguer plus la piste du renforcement de cette musculature dans le cadre de pathologies micro-traumatiques.

4.2. Applicabilité des résultats en pratique clinique

L'objectif de cette revue est d'évaluer l'efficacité du renforcement de la musculature intrinsèque du pied afin de proposer par la suite des exercices ou des programmes applicables par les masseurs-kinésithérapeutes avec les patients atteints de micro-pathologies, dans un but de traitement ou de prévention. L'intérêt d'exercices de renforcement tels que le Short-foot exercise, le Toe-curl exercise, l'hallux-extension, le lesser-toe-extension ou encore le Vele's Forward Lean ou le Reverse Tandem Gait est qu'ils ne nécessitent pas de matériel, sont peu coûteux et sans danger pour les patients.

Cependant, ces exercices peuvent être difficiles à réaliser ; il n'est pas évident de faire comprendre et ressentir les contractions des muscles intrinsèques, notamment pour le Short-foot exercise, et ce, malgré un entraînement préalable. Ces résultats positifs concernent une population jeune, saine et sportive, et ne seront pas forcément identiques s'ils sont proposés à une population plus large. Pour les populations de personnes âgées, obèses ou avec des difficultés neuro-motrices, il semble plus adapté d'utiliser les outils d'électrostimulation neuromusculaire pour renforcer la musculature intrinsèque du pied. En revanche, cette dernière technique est moins sélective pour ces muscles puisqu'il y a une contribution potentielle des muscles extrinsèques lors de ce programme.

Il est à noter que ces entraînements présentent un renforcement pur de la musculature intrinsèque du pied. Toutefois, et comme pour tout renforcement dans le domaine de la kinésithérapie, il est primordial d'intégrer ces exercices au sein de tâches fonctionnelles et selon l'activité du patient.

4.3. Synthèse des biais retrouvés dans les études

Différents biais ont été relevés au cours de l'analyse des articles.

Pour commencer, le biais de sélection est notable et redondant puisque plusieurs des études interventionnelles de type pré/post-test de la revue n'ont pas été soumises à une randomisation. Les groupes étudiés ne sont pas toujours comparables, en termes de nombre ou de population. En effet, certaines études n'ont pas créé des groupes homogènes puisque certains ont été sélectionnés en fonction du sexe.

Le biais de suivi ensuite est à prendre en compte puisque les groupes ne sont pas toujours comparables tout au long des études, notamment parce que les évaluations ne sont pas réalisées en double aveugle. Cependant, il est difficile d'effectuer une intervention en masso-kinésithérapie en double-aveugle, puisque le patient doit réaliser un exercice. Les études menées en simple-aveugle, où l'examineur seul ne sait pas si le patient subit ou non l'intervention tendent à garantir une comparabilité des groupes et de limiter ce biais.

Des biais de confusion sont très certainement présents puisque certaines des études incluses proposent des programmes avec des exercices réalisés par le patient à la maison. Il n'y a donc pas de contrôle des éléments extérieurs pouvant intervenir sur cette intervention, et pouvant interférer avec les résultats.

Le biais d'attrition est également notable ; il apparaît que plusieurs études écartent les patients au fur et à mesure de l'intervention, c'est-à-dire qu'elles traitent les patients per protocol. Pour éviter ce biais, il serait préférable de tenir compte des patients en Intention de Traiter.

Enfin, des biais de mesure sont présents lors de l'évaluation entre autres parce que l'intervention ne peut pas être en double-aveugle ; les patients peuvent être influencés lorsqu'ils répondent à un questionnaire ou lorsqu'ils doivent réaliser un exercice.

4.4. Qualité des preuves

La qualité des preuves présentées dépend de la validité interne et externe des études incluses. En ce qui concerne la validité interne des essais contrôlés randomisés, elle a été évaluée par l'échelle PEDro, présentée plus haut. Cette échelle évalue les critères d'éligibilité des patients, la répartition aléatoire des sujets selon une assignation secrète, la comparabilité des groupes, les investigations en « aveugle » pour les patients comme pour les thérapeutes et les examinateurs externes, la mesure des critères de jugement effectuée sur au moins 85% des sujets initialement inclus, l'analyse des résultats en Intention de traiter (ITT) et la capacité d'interprétation des résultats. Les essais cliniques randomisés dans cette revue ont des scores compris entre 5/11 et 9/11.

D'autre part, la validité interne des études interventionnelles a été investiguée à la suite de la lecture critique d'article. Il en résulte que parmi les études incluses certaines présentées ont une validité interne mitigée de par la taille de l'échantillon, la non-présence de groupe contrôle dans certaines études, l'absence de randomisation ou encore l'absence de suivi en intention de traiter.

Il est important de mentionner que l'investigation en double-aveugle n'est pas possible en masso-kinésithérapie ; le patient ne peut réaliser les exercices sans en être conscient. En revanche les investigateurs, qu'ils soient thérapeutes ou examinateurs peuvent être en aveugle.

Pour ce qui est des critères de jugement, les méthodes de mesure semblent globalement adaptées et ne remettent pas en cause la validité interne des études. En revanche les facteurs de confusion n'ont pas été bien pris en compte notamment dans les études qui proposent un programme à la maison.

Afin d'évaluer la validité interne de cette étude, la grille PRISMA indiquée pour les revues systématiques a été utilisée. (Annexe 7) (Gedda, 2015) La validité interne de

la revue semble intègre mais il aurait été intéressant d'effectuer des analyses statistiques complémentaires pour les résultats relevés.

Pour finir, la validité externe des études est quelque peu menacée. En effet, les études impliquent des populations de patients sains, jeunes et pour la plupart sportifs, ou des patients présentant des pieds plats. Ces populations ne sont pas représentatives de la population générale et les résultats proposés ne sont pas forcément généralisables.

4.5. Biais potentiels de la revue

Plusieurs biais sont à relever dans cette revue. Dans un premier temps il est possible qu'il y ait un biais dans la sélection des articles. Ce biais résulte probablement du biais de publication des articles, qui place en avant de la recherche les articles avec des résultats positifs. Qui plus est, les critères d'inclusion et d'exclusion des articles peuvent avoir influencé la sélection des articles ne permettant pas une recherche large et couvrant une majeure partie de la littérature. Le travail de recherche a tenté d'éviter le biais de publication pour cette revue en incluant les articles présentant des résultats positifs et négatifs, sans sélection des études avec des résultats positifs uniquement. D'autre part, le travail de recherche a été effectué sur 3 bases de données principales ; d'autres bases de données ont été investiguées mais il a été décidé de façon arbitraire de ne pas inclure les articles de ces autres bases. En effet, de nombreux articles similaires se retrouvaient d'une base à l'autre, et n'ont pas été pris en considération pour éviter la redondance. Il est ainsi possible que des articles intéressants et inédits pouvant avoir un intérêt pour cette revue n'aient pas été intégrés.

Il est important de prendre en compte la qualité méthodologique intrinsèque des articles inclus dans la revue. Les études interventionnelles de type pré et post test correspondent à un grade C dans l'échelle des niveaux de preuve de la HAS, ce qui correspond à une faible qualité. Les essais contrôlés randomisés ont un niveau de preuve un peu plus élevé, de grade B, mais restent également à considérer avec prudence. De plus, il faut considérer les biais des études incluses qui sont cités plus haut. Ces biais intrinsèques influent l'interprétation des résultats et ne permettent pas de conclure avec certitude l'efficacité du renforcement des muscles intrinsèques du pied. Qui plus est, les études sont limitées par la taille des échantillons qui sont plutôt faibles. Les résultats de la revue sont donc à considérer avec précaution.

Par ailleurs, il est probable qu'il y ait un biais dans l'analyse des articles. En effet, les études interventionnelles de type pré-post test n'ont pas été analysées par un score validé mais par une lecture critique personnelle et la plus objective possible. Pour autant, l'analyse par les grilles PEDro et STROBE n'assure pas avec certitude une qualité optimale de la lecture critique, puisqu'elles possèdent elles-mêmes des biais et des limites. Le score PEDro par exemple n'évalue que la validité interne des études et ne permet pas de déterminer avec exactitude des conclusions de résultats.

Il est également probable qu'il y ait un biais de confirmation, résultant de la sélection inconsciente des résultats abondant dans le sens de l'hypothèse, et donc d'une interprétation erronée des résultats.

Enfin, il est à noter que l'ensemble des hypothèses se base sur le postulat que les troubles de la posture sont à l'origine d'apparition de pathologies micro-traumatiques et que le renforcement de la musculature intrinsèque du pied pourrait influencer cette posture. Le lien proposé n'est pas entièrement vérifié et les conclusions présentées sont à considérer avec précaution.

5. Conclusion

Cette étude se base sur l'hypothèse que la posture du pied et les troubles qui y sont liés sont des facteurs favorisant le développement de pathologies micro-traumatiques. Il se trouve que les muscles intrinsèques du pied pourraient avoir une influence sur cette posture, dans le contrôle statique et dynamique de l'arche médiale longitudinale.

L'objectif de cette étude était de démontrer l'efficacité du renforcement de la musculature intrinsèque du pied pour l'intégrer dans des programmes de rééducation de pathologies micro-traumatiques. Cette efficacité n'est pas clairement démontrée puisque les résultats sur la posture, la force et la performance des muscles intrinsèques suite au renforcement sont partagés, mais montrent toutefois des effets intéressants. Le renforcement de la musculature intrinsèque du pied via le Short-foot

exercice notamment montre des résultats significatifs sur la posture statique du pied, d'autant plus lorsqu'il est intégré à des tâches fonctionnelles.

L'étude prend en compte les effets du renforcement de la musculature intrinsèque du pied mais n'évalue pas les effets de l'application directe de cette intervention dans le cadre des pathologies micro-traumatiques, en termes de traitement notamment. Ces conclusions sur le potentiel intérêt pour le traitement ou la prévention de ces pathologies sont issues d'une extrapolation des résultats.

Il paraît toutefois intéressant d'intégrer ces exercices dans les programmes de rééducation pour le traitement ou la prévention de ces pathologies de sur-sollicitation du système suro-achilléo-calcanéo-plantaire.

La faiblesse méthodologique des études incluses et l'application à une population jeune, saine et sportive ne permet pas de conclure avec certitude à l'efficacité réelle d'une telle intervention, qui plus est appliquée à une population plus large.

Il n'existe pas d'articles répondant clairement à cette hypothèse, toutefois cette revue met en évidence des pistes à investiguer pour aider au traitement des pathologies micro-traumatiques qui sont courantes, voire de les prévenir. Ces effets du renforcement de la musculature intrinsèque du pied sont donc à explorer plus en détails, et à appliquer sur une population de patients atteints de ce type de pathologie. De plus, il serait intéressant d'explorer les risques de récides suite à de tels programmes. Pour répondre à cette question, Matias a publié un protocole d'étude se proposant d'évaluer les effets du renforcement de la musculature intrinsèques sur la récide, et l'influence sur la rééducation des pathologies micro-traumatiques ; les résultats n'ont pas encore été publiés à ce jour. (Matias et al., 2016)

Ce travail de recherche m'a appris à avoir un raisonnement scientifique et à suivre une méthode précise afin de répondre à une question de recherche. Il est intéressant de voir que les résultats ne sont jamais totalement objectifs ou totalement significatifs pour une intervention. Cette étude m'incite à pratiquer et appliquer des techniques validées et suivant un raisonnement clinique basé sur les preuves pour ma future pratique professionnelle.

Bibliographie

Bérard, C., Payan, C., Hodgkinson, I., Fermanian, J., & The MFM Collaborative Study Group. (2005). A motor function measure scale for neuromuscular diseases. Construction and validation study. *Neuromuscular Disorders*, 15(7), 463-470. <https://doi.org/10.1016/j.nmd.2005.03.004>

Brody, D. M. (1982). Techniques in the evaluation and treatment of the injured runner. *The Orthopedic Clinics of North America*, 13(3), 541-558.

Busseuil, C., Freychat, P., Guedj, E. B., & Lacour, J. R. (1998). Rearfoot-forefoot orientation and traumatic risk for runners. *Foot & Ankle International*, 19(1), 32-37. <https://doi.org/10.1177/107110079801900106>

Butler, R. J., Hillstrom, H., Song, J., Richards, C. J., & Davis, I. S. (2008). Arch Height Index Measurement System. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 98(2), 102-106. <https://doi.org/10.7547/0980102>

Chanussot, J.-C., Danowski, R.-G., & Rodineau, J. (2005). *Rééducation en traumatologie du sport. 2: Membre inférieur et rachis* (4e édition). Paris: Masson.

Chanussot, J.-C., Danowski, R.-G., & Rodineau, J. (2012). *Traumatologie du sport* (8e édition). Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson.

Cook, G., Burton, L., & Hoogenboom, B. (2006a). Pre-Participation Screening: The Use of Fundamental Movements as an Assessment of Function – Part 1. *North American Journal of Sports Physical Therapy : NAJSPT*, 1(2), 62-72.

Cook, G., Burton, L., & Hoogenboom, B. (2006b). Pre-Participation Screening: The Use of Fundamental Movements as an Assessment of Function – Part 2. *North American Journal of Sports Physical Therapy : NAJSPT*, 1(3), 132-139.

Cook, J. L., & Purdam, C. R. (2009). Is tendon pathology a continuum? A pathology model to explain the clinical presentation of load-induced tendinopathy. *British Journal*

of *Sports Medicine*, 43(6), 409-416. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2008.051193>

Correlation of Foot Posture Index With Plantar Pressure and Radiographic Measurements in Pediatric Flatfoot. (s. d.). Consulté 2 mai 2019, à l'adresse <https://www.e-arm.org/journal/view.php?number=492>

Drake, R. L., Vogl, A. W., Mitchell, A. W. M., Tibbitts, R. M., Richardson, P. E., Horn, A., & Duparc, F. (2018). *Gray's anatomie : les fondamentaux*. Elsevier Masson. (BU Sciences Doua 611 DRA).

Dufour, M., & Gillot, C. (2015). *Anatomie de l'appareil locomoteur* (3e édition.). Elsevier Masson. (BU Lyon Sud WE 101 DUF).

E. Miller, E., Whitcome, K., Lieberman, D., Norton, H., & E. Dyer, R. (2014). The effect of minimal shoes on arch structure and intrinsic foot muscle strength. *Journal of Sport and Health Science*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.03.011>

Ebrecht, F., & Sichting, F. (2018). Does neuromuscular electrostimulation have the potential to increase intrinsic foot muscle strength? *Foot (Edinburgh, Scotland)*, 35, 56-62. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2018.01.006>

Échelle PEDro (Français). (s. d.). Consulté 26 avril 2019, à l'adresse PEDro website: <https://www.pedro.org.au/french/downloads/pedro-scale/>

Fiolkowski, P., Bishop, M., Brunt, D., & Williams, B. (2005). Plantar feedback contributes to the regulation of leg stiffness. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 20(9), 952-958. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.03.013>

Fiolkowski, P., Brunt, D., Bishop, M., Woo, R., & Horodyski, M. (2003). Intrinsic pedal musculature support of the medial longitudinal arch: an electromyography study. *The Journal of Foot and Ankle Surgery: Official Publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 42(6), 327-333. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2003.10.003>

Fourchet, F., Kilgallon, M., Loepelt, H., & Millet, G.-P. (2009). Électrostimulation des muscles plantaires et chute de l'os naviculaire. *Science & Sports*, 24(5), 262-264. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2009.03.005>

Francis, P., Whatman, C., Sheerin, K., Hume, P., & Johnson, M. I. (2019). The Proportion of Lower Limb Running Injuries by Gender, Anatomical Location and Specific Pathology: A Systematic Review. *Journal of Sports Science & Medicine*, 18(1), 21-31.

Fraser, J. J., Feger, M. A., & Hertel, J. (2016). CLINICAL COMMENTARY ON MIDFOOT AND FOREFOOT INVOLVEMENT IN LATERAL ANKLE SPRAINS AND CHRONIC ANKLE INSTABILITY. PART 2: CLINICAL CONSIDERATIONS. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 11(7), 1191-1203.

Fraser, J. J., & Hertel, J. (2018). Effects of a 4-Week Intrinsic Foot Muscle Exercise Program on Motor Function: A Preliminary Randomized Control Trial. *Journal of Sport Rehabilitation*, 1-32. <https://doi.org/10.1123/jsr.2017-0150>

Fuller, E. (2000). The windlass mechanism of the foot. A mechanical model to explain pathology. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 90(1), 35-46. <https://doi.org/10.7547/87507315-90-1-35>

Gedda, M. (2015). Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. [/data/revues/17790123/v15i157/S177901231400432X/](https://doi.org/10.7547/87507315-90-1-35). Consulté à l'adresse <https://www.em-consulte.com/en/article/949713>

Gijon-Nogueron, G., & Fernandez-Villarejo, M. (2015). Risk Factors and Protective Factors for Lower-Extremity Running Injuries A Systematic Review. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 105(6), 532-540. <https://doi.org/10.7547/14-069.1>

Gooding, T. M., Feger, M. A., Hart, J. M., & Hertel, J. (2016). Intrinsic Foot Muscle Activation During Specific Exercises: A T2 Time Magnetic Resonance Imaging Study. *Journal of Athletic Training*, 51(8), 644-650. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.10.07>

Gribble, P. A., Hertel, J., & Plisky, P. (2012). Using the Star Excursion Balance Test to

assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review. *Journal of Athletic Training*, 47(3), 339-357. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.3.08>

Hashimoto, T., & Sakuraba, K. (2014). Strength training for the intrinsic flexor muscles of the foot: effects on muscle strength, the foot arch, and dynamic parameters before and after the training. *Journal of Physical Therapy Science*, 26(3), 373-376. <https://doi.org/10.1589/jpts.26.373>

Haute Autorité de Santé - Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique - État des lieux. (2013). Consulté 1 mai 2019, à l'adresse https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_1600564/fr/niveau-de-preuve-et-gradation-des-recommandations-de-bonne-pratique-etat-des-lieux

Headlee, D. L., Leonard, J. L., Hart, J. M., Ingersoll, C. D., & Hertel, J. (2008). Fatigue of the plantar intrinsic foot muscles increases navicular drop. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(3), 420-425. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2006.11.004>

Hintermann, B., & Nigg, B. M. (1998). Pronation in runners. Implications for injuries. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 26(3), 169-176. <https://doi.org/10.2165/00007256-199826030-00003>

Hip weakness and shin splints: a biomechanical approach. (2018, juin 25). Consulté 1 mai 2019, à l'adresse Sports Injury Bulletin website: <https://www.sportsinjurybulletin.com/hip-weakness-and-shin-splints-a-biomechanical-approach/>

Huffer, D., Hing, W., Newton, R., & Clair, M. (2017). Strength training for plantar fasciitis and the intrinsic foot musculature: A systematic review. *Physical Therapy in Sport*, 24, 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2016.08.008>

Jam, D. B. (2004). *Evaluation and Retraining of the Intrinsic Foot Muscles for Pain Syndromes Related to Abnormal Control of Pronation*. 8.

Jung, D.-Y., Kim, M.-H., Koh, E.-K., Kwon, O.-Y., Cynn, H.-S., & Lee, W.-H. (2011). A comparison in the muscle activity of the abductor hallucis and the medial longitudinal arch angle during toe curl and short foot exercises. *Physical Therapy in Sport*, 12(1), 30-35. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2010.08.001>

Jung, D.-Y., Koh, E.-K., & Kwon, O.-Y. (2011). Effect of foot orthoses and short-foot exercise on the cross-sectional area of the abductor hallucis muscle in subjects with pes planus: a randomized controlled trial. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 24(4), 225-231. <https://doi.org/10.3233/BMR-2011-0299>

Kamina, P., & Martinet, C. (2009). *Anatomie clinique. Tome 1: Anatomie générale, membres* (4e édition). Paris: Maloine.

Kapandji, A. I., & Judet, T. (2009). *Anatomie fonctionnelle: hanche, genou, cheville, pied, voûte plantaire, marche. 2: Membre inférieur* (6e édition). Paris: Maloine.

Kaufman, K. R., Brodine, S. K., Shaffer, R. A., Johnson, C. W., & Cullison, T. R. (1999). The effect of foot structure and range of motion on musculoskeletal overuse injuries. *The American Journal of Sports Medicine*, 27(5), 585-593. <https://doi.org/10.1177/03635465990270050701>

Kelly, L. A., Cresswell, A. G., Racinais, S., Whiteley, R., & Lichtwark, G. (2014). Intrinsic foot muscles have the capacity to control deformation of the longitudinal arch. *Journal of the Royal Society, Interface*, 11(93), 20131188. <https://doi.org/10.1098/rsif.2013.1188>

Kim, E.-K., & Kim, J. S. (2016). The effects of short foot exercises and arch support insoles on improvement in the medial longitudinal arch and dynamic balance of flexible flatfoot patients. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(11), 3136-3139. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.3136>

Klein, P., Sommerfeld, P., & Meddeb, G. (2008). *Biomécanique des membres inférieurs. [Texte imprimé]: bases et concepts, bassin, membres inférieurs*. Elsevier Masson. (BU Santé Rockefeller WE 103 KLE).

Kouvalchouk, J.-F., & Hassan, E. (2006). Pathologie du tendon calcanéen (tendon d'Achille) : tendinopathies, ruptures, plaies. <http://www.em-premium.com.docelec.univ-lyon1.fr/data/traites/pg0/27-43474/>. Consulté à l'adresse <http://www.em-premium.com.docelec.univ-lyon1.fr/article/46829/resultatrecherche/4>

Kowalski, C. (2012). Biomécanique du pied. Première partie. *Médecine et Chirurgie du Pied*, 3(28), 89-99. <https://doi.org/10.1007/s10243-012-0345-4>

Lynn, S. K., Padilla, R. A., & Tsang, K. K. W. (2012). Differences in static- and dynamic-balance task performance after 4 weeks of intrinsic-foot-muscle training: the short-foot exercise versus the towel-curl exercise. *Journal of Sport Rehabilitation*, 21(4), 327-333.

Mahieu, N. N., Witvrouw, E., Stevens, V., Van Tiggelen, D., & Roget, P. (2006). Intrinsic risk factors for the development of achilles tendon overuse injury: a prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(2), 226-235. <https://doi.org/10.1177/0363546505279918>

Martin, R. L., Chimenti, R., Cuddeford, T., Houck, J., Matheson, J. W., McDonough, C. M., ... Carcia, C. R. (2018). Achilles Pain, Stiffness, and Muscle Power Deficits: Midportion Achilles Tendinopathy Revision 2018: Clinical Practice Guidelines Linked to the International Classification of Functioning, Disability and Health From the Orthopaedic Section of the American Physical Therapy Association. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 48(5), A1-A38. <https://doi.org/10.2519/jospt.2018.0302>

Matias, A. B., Taddei, U. T., Duarte, M., & Sacco, I. C. N. (2016). Protocol for evaluating the effects of a therapeutic foot exercise program on injury incidence, foot functionality and biomechanics in long-distance runners: a randomized controlled trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 17, 160. <https://doi.org/10.1186/s12891-016-1016-9>

McKeon, P. O., & Fourchet, F. (2015). Freeing the foot: integrating the foot core system into rehabilitation for lower extremity injuries. *Clinics in Sports Medicine*, 34(2), 347-361. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2014.12.002>

McKeon, P. O., Hertel, J., Bramble, D., & Davis, I. (2015). The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function. *Br J Sports Med*, 49(5), 290-290. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092690>

McPoil, T. G., Cornwall, M. W., Medoff, L., Vicenzino, B., Forsberg, K., & Hilz, D. (2008). Arch height change during sit-to-stand: an alternative for the navicular drop test. *Journal of Foot and Ankle Research*, 1(1), 3. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-1-3>

Mulligan, E. P., & Cook, P. G. (2013). Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function. *Manual Therapy*, 18(5), 425-430. <https://doi.org/10.1016/j.math.2013.02.007>

Newman, P., Witchalls, J., Waddington, G., & Adams, R. (2013). Risk factors associated with medial tibial stress syndrome in runners: a systematic review and meta-analysis. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 4, 229-241. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S39331>

Okamura, K., Kanai, S., Fukuda, K., Tanaka, S., Ono, T., & Oki, S. (2018). The effect of additional activation of the plantar intrinsic foot muscles on foot kinematics in flat-footed subjects. *Foot (Edinburgh, Scotland)*, 38, 19-23. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2018.11.002>

Okamura, K., Kanai, S., Hasegawa, M., Otsuka, A., & Oki, S. (2018). The effect of additional activation of the plantar intrinsic foot muscles on foot dynamics during gait. *The Foot*, 34, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2017.08.002>

Pohl, M. B., Hamill, J., & Davis, I. S. (2009). Biomechanical and Anatomic Factors Associated with a History of Plantar Fasciitis in Female Runners. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 19(5), 372. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3181b8c270>

Redmond, A. C., Crane, Y. Z., & Menz, H. B. (2008). Normative values for the Foot Posture Index. *Journal of Foot and Ankle Research*, 1(1), 6. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-1-6>

Redmond, A. C., Crosbie, J., & Ouvrier, R. A. (2006). Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: The Foot Posture Index. *Clinical Biomechanics*, 21(1), 89-98. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.08.002>

Saltzman, C. L., Nawoczenski, D. A., & Talbot, K. D. (1995). Measurement of the medial longitudinal arch. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 76(1), 45-49. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(95\)80041-7](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(95)80041-7)

Sancerne, A., & Kaux, J. F. (2015). Revue épidémiologique des tendinopathies les plus fréquentes. *Journal de Traumatologie du Sport*. Consulté à l'adresse <https://www-em-premium-com.docelec.univ-lyon1.fr/article/1011262/resultatrecherche/2>

Sulowska, I., Mika, A., Oleksy, Ł., & Stolarczyk, A. (2019). The Influence of Plantar Short Foot Muscle Exercises on the Lower Extremity Muscle Strength and Power in Proximal Segments of the Kinematic Chain in Long-Distance Runners. *BioMed Research International*, 2019, 6947273. <https://doi.org/10.1155/2019/6947273>

Sulowska, I., Oleksy, Ł., Mika, A., Bylina, D., & Sołtan, J. (2016a). The Influence of Plantar Short Foot Muscle Exercises on Foot Posture and Fundamental Movement Patterns in Long-Distance Runners, a Non-Randomized, Non-Blinded Clinical Trial. *PloS One*, 11(6), e0157917. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157917>

Sulowska, I., Oleksy, Ł., Mika, A., Bylina, D., & Sołtan, J. (2016b). The Influence of Plantar Short Foot Muscle Exercises on Foot Posture and Fundamental Movement Patterns in Long-Distance Runners, a Non-Randomized, Non-Blinded Clinical Trial. *PloS One*, 11(6), e0157917. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157917>

Traduction française des lignes directrices STROBE pour l'écriture et la lecture des études observationnelles - EM|consulte. (s. d.). Consulté 2 mai 2019, à l'adresse <https://www.em-consulte.com/en/article/949712>

Vinicombe, A., Raspovic, A., & Menz, H. B. (2001). Reliability of Navicular Displacement Measurement as a Clinical Indicator of Foot Posture. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 91(5), 262-268. <https://doi.org/10.7547/87507315-91-5-262>

Wilder, R. P., & Sethi, S. (2004). Overuse injuries: tendinopathies, stress fractures, compartment syndrome, and shin splints. *Clinics in Sports Medicine*, 23(1), 55-81, vi. [https://doi.org/10.1016/S0278-5919\(03\)00085-1](https://doi.org/10.1016/S0278-5919(03)00085-1)

ANNEXES

Annexe 1 : Schémas anatomiques

Annexe 2 : Chart-flow PubMed

Annexe 3 : Chart-flow finale

Annexe 4 : Tableau récapitulatif des études incluses

Annexe 5 : Tableaux de résultats

Annexe 6 : Tests et échelles

Annexe 7 : Echelles d'analyse d'article

Annexe 8 : Grille de lecture critique d'article

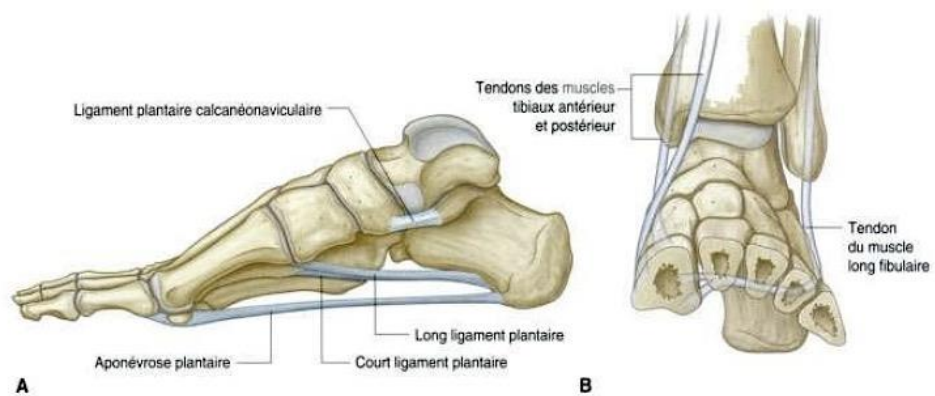
Annexe 9 : Fiches de lecture

Annexe 1 : Schémas anatomiques

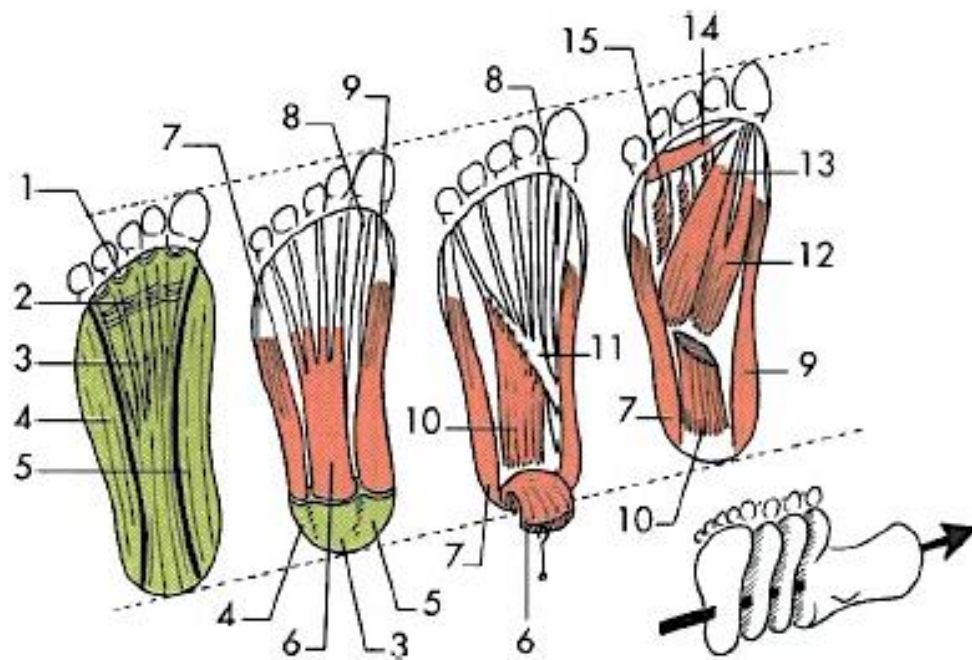
Arches du pied



Structures passives ligamentaires du pied

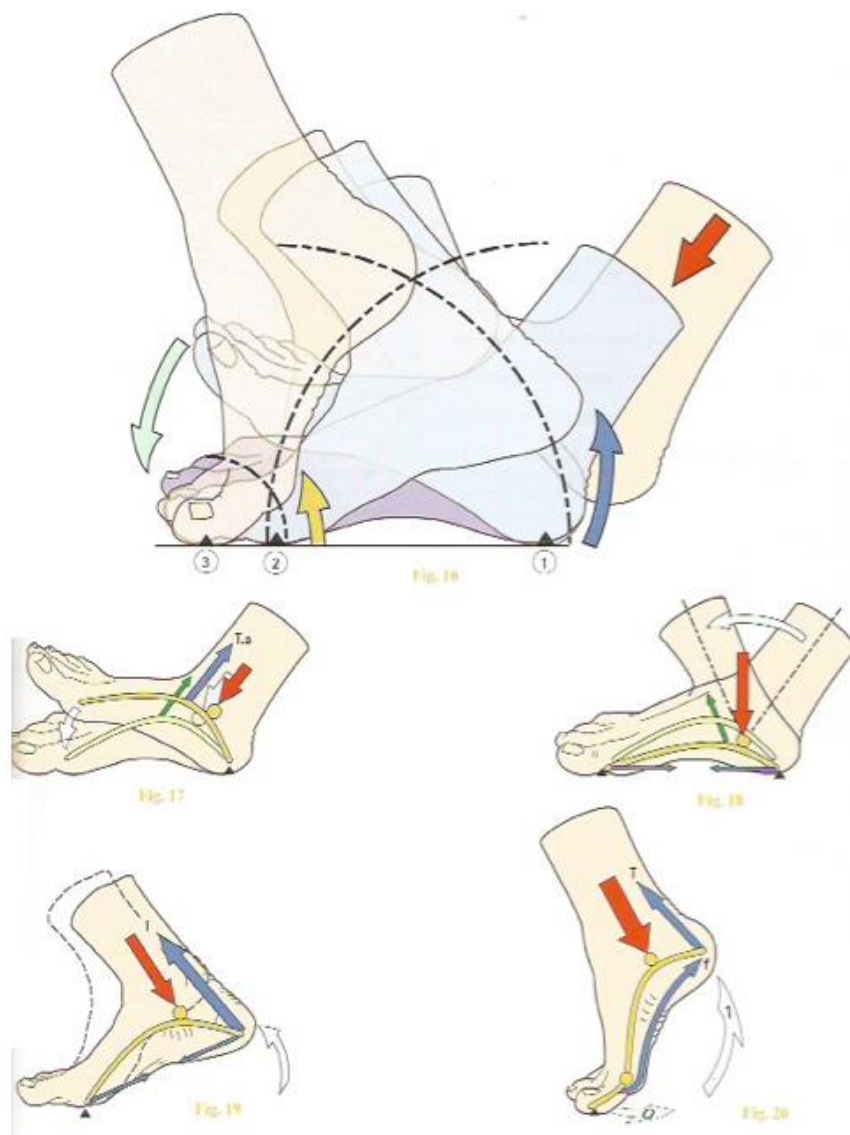


Différentes couches plantaires



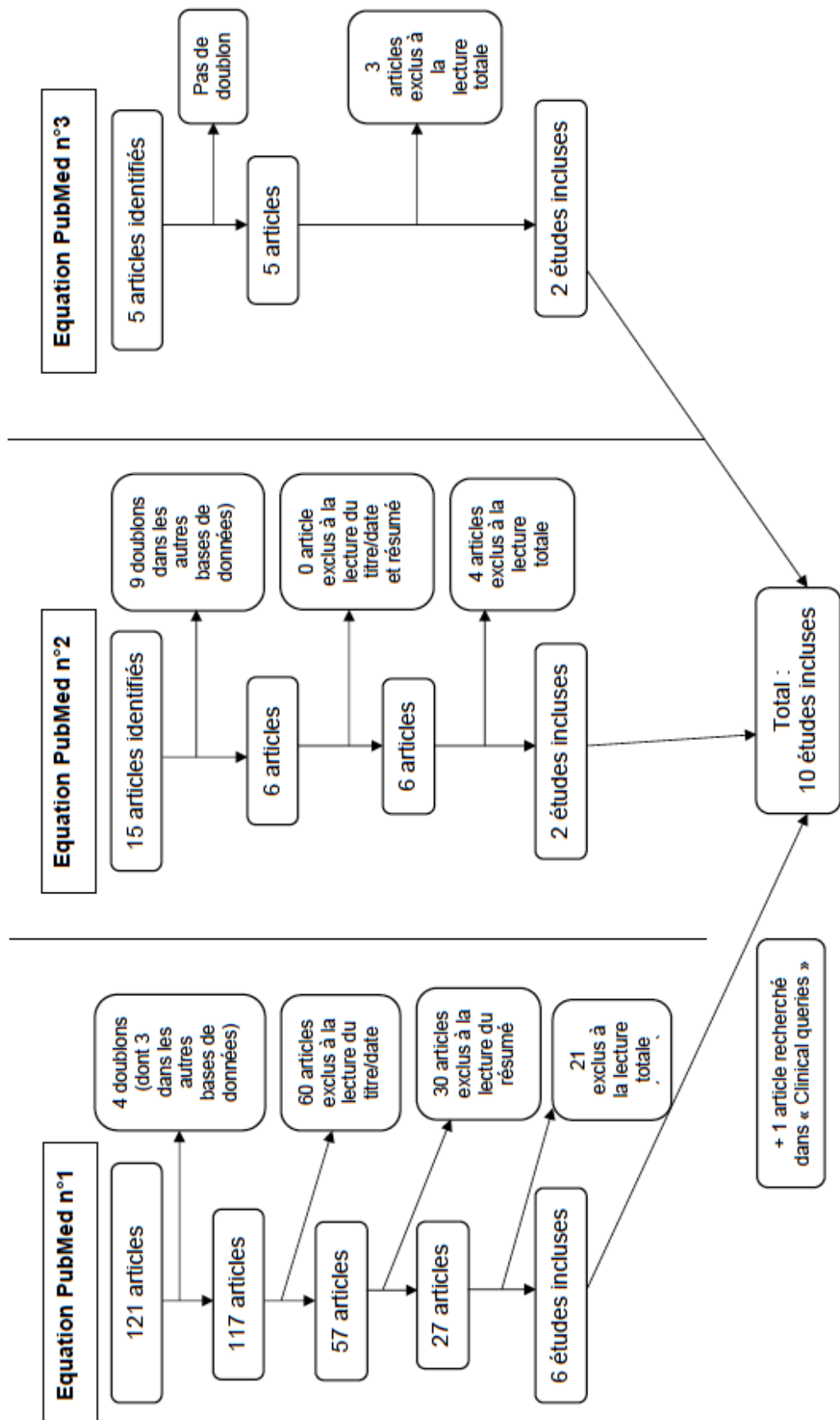
Muscles : 1) Ligament métatarsien transverse superficiel 2) Fibres transversales 3) Aponévrose plantaire moyenne 4) Aponévrose plantaire latérale 5) Aponévrose plantaire médiale 6) Court fléchisseur des orteils 7) Abducteur du 5 8) Long fléchisseur de l'hallux 9) Abducteur du 1 10) Carré plantaire 11) Long fléchisseur des orteils 12) Court fléchisseur du 1 13) Adducteur oblique du 1 14) Adducteur transverse du 1 15) Interosseux plantaires

Déroulement du pas

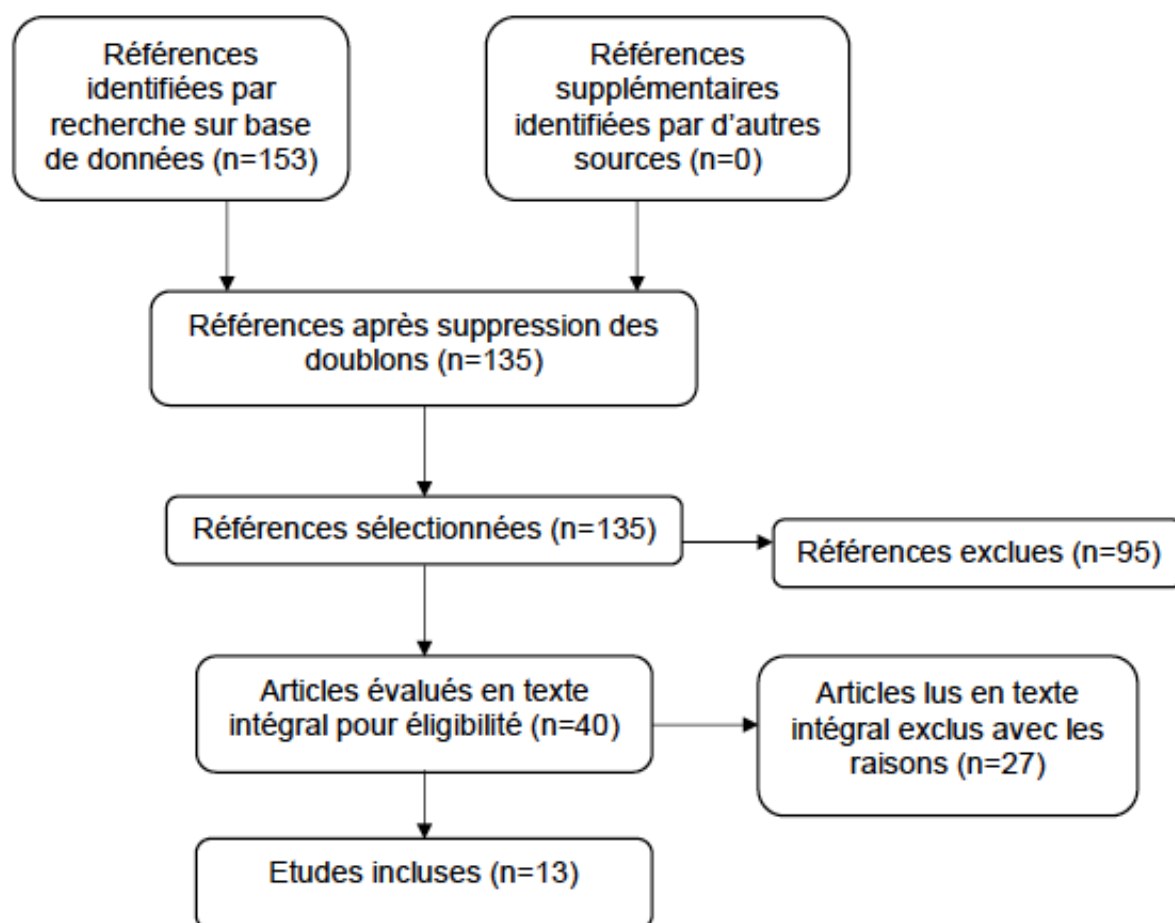


Phase d'attaque du talon, phase d'appui, déroulement du pied, phase pré-oscillatoire, propulsion.

Annexe 2 : Chart-flow PubMed



Annexe 3 : Chart-flow finale



Annexe 4 : Tableau récapitulatif des études incluses

Auteur (Année) / Design de l'étude / Score PEDro	Taille de l'échantillon	Groupe d'intervention	Groupe contrôle	Mesure des résultats
Mulligan & Cook (2013) Etude pilote/ pré-post test	n=21	Short-foot exercise group n=21 4 semaines - Session de 3 min/j 30 rép Contraction tenue 5 secondes	X	• Navicular Drop Test • Arch Height Index • Intrinsic Foot Muscle Test • Star Excursion Balance Test
Lynn & al. (2012) Essai contrôlé randomisé Score PEDro : 5/11	n=24	Short-Foot exercise group n=8 Towel-curl exercise group n=8 4 semaines - 100 rép/j contraction 5 secondes	n=8	• Test de l'équilibre statique sur 1 pied • Test de l'équilibre dynamique via le Y-balance test (SEBT modifié). • Navicular Drop Test modifié (station debout seule)
Fraser & Hertel (2018) Essai contrôlé randomisé Score PEDro : 6/11 Grille CONSORT : 20/25	n=24	Exercices à la maison n=12 Toe-spread-out exercise, Hallux extension (=First-toe extension), Lesser-toe-extension (=Second-to-fifth-toe-extension), Short-foot exercise	n=12	• Echelle adaptée pour la performance motrice de Bérard • Echelle de Likert pour la difficulté perçue par le sujet • Mesure via l'imagerie par ultrasons de l'épaisseur des muscles ABH, FDB, QP via le ratio d'activation : mesure de la contraction/mesure du relâchement
Okamura & al. (2018) Essai contrôlé randomisé Score PEDro : 7/11	n=20	Electrostimulation neuro-musculaire (NMES) n=10 Essai statique debout : enregistrement sur 10 sec, NMES les 5 dernières sec Marche : NMES en phase de milieu d'appui jusqu'en phase de pré-oscillation	n=10	• Mesure de la hauteur du naviculaire en position statique et pendant la marche • Paramètres de la marche : durée de la phase d'appui, hauteur minimum de l'os naviculaire, moment pendant lequel le naviculaire atteint cette valeur minimale, angle de l'avant pied relatif à l'arrière pied, angle de l'arrière pied relatif au tibia, moment interne de la cheville, réaction de force maximale du sol (direction antérieure, médiale et latérale) pendant la seconde moitié de la phase d'appui
Gooding & al. (2016) Etude descriptive/observationnelle	n=8	Groupe d'intervention : 4 exercices n=8 Short-foot exercise, Toes-spread-out exercise, First-toe-extension, Second-to-Fifth-toe extension 40 rép, contraction 3 secondes, rythme 20 battements/min J1 : 2 exercices, différents pour chaque pied J1+48H : 2 exercices, différents pour chaque pied et différents des 2 premiers	X	• Pourcentage d'augmentation de l'activation musculaire calculé selon les mesures prises par IRM : ((Active pixels) / (Total pixels-Inactive pixels)) x100= % Active muscle
Ebrecht & Sichtung (2018)	n=74		n=15	

Essai contrôlé randomisé
Score PEDro : 5/11

Electrostimulation neuro-musculaire (NMES) n=19
8 semaines - 2 sessions/semaine
15 minutes - 4 sec contraction 8 sec repos
Protocole de running avec chaussures minimalistes n=40
8 semaines - 2 sessions/semaine
2 sous-groupes : débutant v<10km/h début à 10min/session ; avancé v≥10km/h début à 15min/session

- Coupe transversale du muscle ABD hallux
- Sit-to-Stand Navicular Drop Test
- Calcul du static Navicular Drop (sND : différence entre la mesure assise et debout du Navicular Drop) avant et après une course de 20 minutes sur tapis représentant la fatigue

Hashimoto & Sakuraba (2014) Etude interventionnelle de type pré-post test	n=12	Exercice de flexion de l'IPP et de la MP de tous les orteils contre une charge de 3kg du pied droit et du pied gauche simultanément. 200 répétitions à chaque sessions, 3 fois par semaine pendant 8 semaines. 1 seconde de contraction, 1 seconde de repos.	X	• Dynamomètre pour l'évaluation de la force musculaire • Longueur des arches longitudinales et horizontales (empreinte de Berkemann en position statique debout) pour la mesure de l'arche plantaire • Mesure de la dynamique fonctionnelle/performance : 1-legged long jump (saut en longueur sur 1 pied), vertical jumping (saut en hauteur), 50-m dash time (Temps sur 50 mètres)
Jung & al. (2011) Etude interventionnelle de type pré-post test	n=20	2 exercices : Short-foot exercise, Toe-curl exercise 15 min/j pour chaque exercice, pendant 2 semaines. Contraction maximale. 10 min de repos entre chaque exercice.	X	• Mesure de la force maximale de contraction volontaire isométrique en position de testing manuel (MVIC Maximum voluntary isometric contraction) et mesure EMG pour donner le % MVIC et donc l'activité musculaire de l'abducteur de l'hallux (force musculaire) • Mesure de l'angle de l'arche médiale longitudinale (video motion-analysis) représentant la hauteur de l'arche
Fourchet & al. (2009) Etude interventionnelle de type pré-post test - Essai contrôlé non randomisé	n=16	Entraînement normal d'athlétisme 9 séances /sem associé à un programme d'électrostimulation pendant les 3 premières semaines n=8 3 séances de 15 min d'ES par semaine, simultanément des 2 pieds.	Entraînement normal 9 séances/sem n=8	• Navicular Drop Test mesuré avant le protocole, après le protocole (à 3 semaines puis à 6 semaines) représentant la hauteur de l'arche
Okamura & al. (2018) Essai contrôlé randomisé Score PEDro : 7/11	n=18	Electrostimulation neuromusculaire (NMES) de l'abducteur de l'hallux n=9 Essai statique debout : enregistrement sur 10 secondes, NMES les 5 dernières secondes Marche : NMES en phase de milieu d'appui jusqu'en phase de pré-oscillation	n=9	• Mesure de la hauteur du naviculaire en position statique et pendant la marche • Paramètres de la marche : durée de la phase d'appui, hauteur minimum de l'os naviculaire, moment pendant lequel le naviculaire atteint cette valeur minimale, angle de l'avant pied relatif à l'arrière pied, angle de l'arrière pied relatif au tibia, moment interne de la cheville, réaction de force maximale du sol (direction antérieure, médiale et latérale) pendant la seconde moitié de la phase d'appui

Jung & al. (2011) Essai contrôlé randomisé Score PEDro : 9/11	n=28	Groupe avec orthèses et Short-foot exercise n=14 8 semaines d'intervention SFE sur 1 pied, genou légèrement fléchi, maintien de l'équilibre avec les index contre le mur. 3 séries de 5 rép, 2x/j Tenu de la contraction 5sec, 2 min de repos entre les séries. Progression : augmentation des répétitions par série et maintien 10sec.	Groupe avec orthèses seules n=14	• Mesure de la surface de section transversale du muscle abducteur de l'hallux (ultrasons) • Mesure via un dynamomètre de la force du fléchisseur de l'hallux
Kim & Kim (2016) Etude interventionnelle de type pré-post test	n=14	Short-foot exercise n=7 5 semaines, 3 sessions/sem 30min/session Tenu 10 sec puis 5 sec	Groupe avec une semelle de soutien de l'arche n=7 Marche 30min/session sol plat 3x/sem pendant 5 sem	• Navicular Drop Test pour la hauteur naviculaire • Y-balance test pour la performance
Sulowska & al. (2016) Etude interventionnelle de type pré-post test	n=25	G1 (n=13) : Vele's Forward Lean exercise et Reverse Tandem Gait exercise G2 (n=12) : Short-foot exercise 6 semaines Progression : 15min assis, 7min30 en assis puis 7min30 debout, 5min assis, 5min debout, 5min demi-squat	X	• Foot Posture Index 6 pour la posture du pied • Functional Movement Screen pour la performance
Sulowska & al. (2019) Etude interventionnelle de type pré-post test	n=47	Groupe 1 (n=27) avec pied neutre Groupe 2 (n=20) avec pied en pronation Exercices pendant 6 semaines, tous les jours : Vele's Forward Lean, Reverse Tandem Gait, Short-foot exercise, Disque de stabilité, Elastiques.	X	• Foot Posture Index 6 pour la posture du pied • Mesure isocinétique (dynamomètre) de la force musculaire • Running-based Anaerobic Sprint Test (RAST) pour évaluer la force anaérobie

Annexe 5 : Tableaux de résultats

Critère de jugement principal : la posture de l'arche médiale longitudinale

Mesure	Article	Résultats						
		Short-foot	Toe-curl / Towel-curl	Toe-spread-out	Hallux-extension	Lesser-toe-extension	Veles-toe-extension	Reverse Tandem Lean
NDT ou NDT modifié (Sit-to-stand double leg NDT)	Mulligan (2013)	X						
	Lynn (2012)	X	X					
	Ebrecht (2018)							X
	Fourchet (2009)							X
AHI	Kim (2016)	X						
	Mulligan (2013)	X						
Hauteur naviculaire	Okamura (2018) - During gait							X
	Okamura (2018) - Flat-footed subjects							X
Angle MLA	Jung (2011) - Comparison	X	X					
	Sulowska (2016)	X			X		X	
Longueur arche longitudinale et horizontale	Hashimoto (2014)		X					

↘ significative du drop entre S0 et S4 ($p=0,04$) et S0 et S8 ($p=0,04$) mais pas de différence significative entre S4 et S8 après l'arrêt des exercices.

Pas de différence significative jambe dominante $p=0,265$ et non dominante $p=0,752$

Pas de différence significative entre les 3 groupes (NMES, contrôle, running) $p=0,073$

↘ significative de la chute naviculaire entre le pré (S0) et le post-test (S3) du gpe d'intervention ($p<0,01$), mais pas pour le gpe contrôle. Effet maintenu entre le pré et le post test 2 (S6) ($p<0,01$). Entre le post test (S3) et le post test 2 (S6) l'effet reste plus faible pour le gpe d'intervention ($p<0,05$).

Différence significative entre gpe SFE et gpe contrôle (ASI) après l'intervention ($p<0,05$). ↘ significative avant et après l'intervention pour le gpe SFE ($p<0,05$) mais pas pour le gpe ASI.

Différence significative entre S0 et S4 ($p=0,03$) et S0 et S8 ($p=0,03$) mais pas de différence significative entre S4 et S8 après l'arrêt des exercices.

↑ significative de la hauteur naviculaire par rapport aux valeurs de base dans le groupe d'intervention ($p=0,04$).

Pas de différence significative de la hauteur de l'os naviculaire ($p=0,90$)

L'angle est significativement plus petit pendant le SFE que pendant le TCE assis $p=0,001$ et debout sur une jambe $p<0,001$. Pas de différence significative de l'angle entre la position assise et debout sur 1 pied pour le SFE $p=0,251$. L'angle de la MLA est significativement plus important entre la position assise et debout sur 1 pied pour le TCE $p<0,001$

Amélioration significative pour la palpation de la tête du talus dans le gpe 1 (Veles's Forward Lean et Reverse Tandem Gait) ($p=0,001$) et pour l'inversion/éversion du calcaneum dans le gpe 2 (SFE) ($p=0,017$). Pas de différence significative pour les autres scores.

↘ significative de la longueur de l'arche longitudinale ($p<0,01$) et de l'arche transversale ($p<0,01$) entre le pré et le post test.

Critère de jugement secondaire : **la force musculaire**

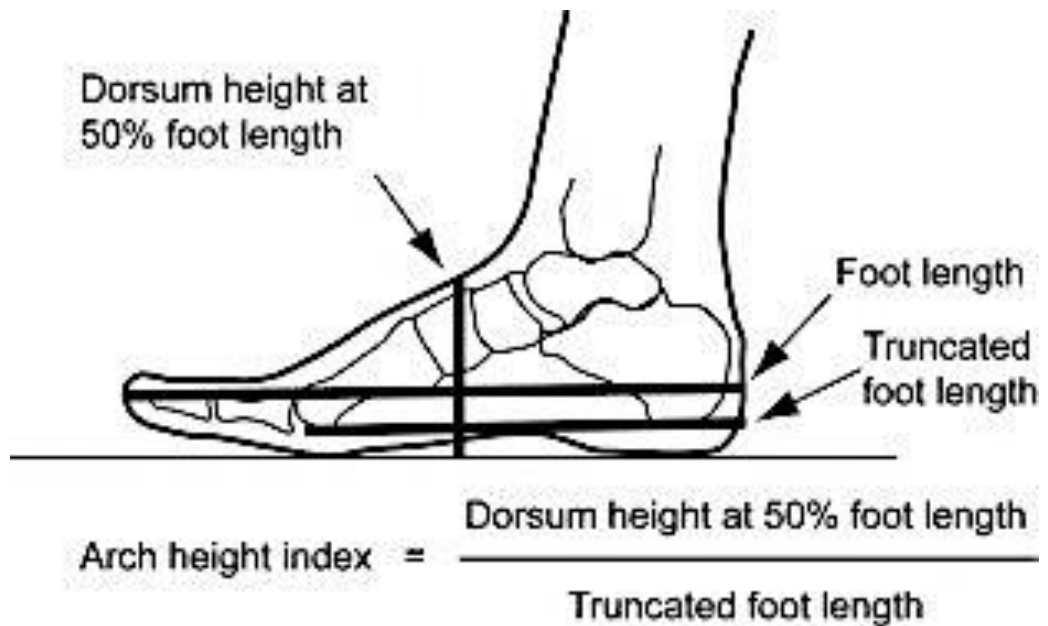
Mesure	Article	Résultats						
		Short-foot	Toe-curl / Towel-curl	Toe-spread-out	Hallux-extension	Lesser-toe-extension	Val's Forward Lean	NMES
Ratios d'activation musculaire	Fraser (2018) - US	X	X	X	X			↑ significative de l'activation de l'abducteur de l'hallux lors du toe-spread-out exercice pour le gpe d'intervention et le gpe contrôle (p=0,05). Pas d'autre amélioration significative pour les autres exercices, muscles, dans les gpes d'intervention ou contrôle.
	Gooding (2016) - IRM	X	X	X	X			↑ significative de l'activation pour tous les IFM pour chaque exercice : de 8,9% à 35,2%
	Ebrecht (2018)						X	Pas de différence significative entre les 3 groupes (NMES, contrôle, running) p=0,203
Surface de section transversale ABD hallux	Jung (2011) - Pes planus	X						↑ significative de la CSA dans le gpe contrôle et le gpe SFE (p=0,000). ↑ significativement plus importante pour le gpe SFE que contrôle (p=0,008).
Electromyogramme ABD hallux	Jung (2011) - Comparison	X						L'activité musculaire est significativement plus grande pour le SFE que pour le TCE en position assise et debout sur une jambe p<0,001. Pas de différence significative de l'activité musculaire pour le TCE entre la position assise et debout sur une jambe p=0,016. ↑ significative de l'activité musculaire pour le SFE entre la position assise et debout p<0,001
Dynamomètre	Hashimoto (2014)		X					↑ significative de la force musculaire à droite et à gauche (p<0,01).
	Jung (2011) - Pes planus	X						↑ significative de la force musculaire dans le gpe contrôle et le gpe SFE (p=0,000). ↑ significativement plus importante pour le gpe SFE que contrôle (p=0,008).

Critère de jugement secondaire : la performance

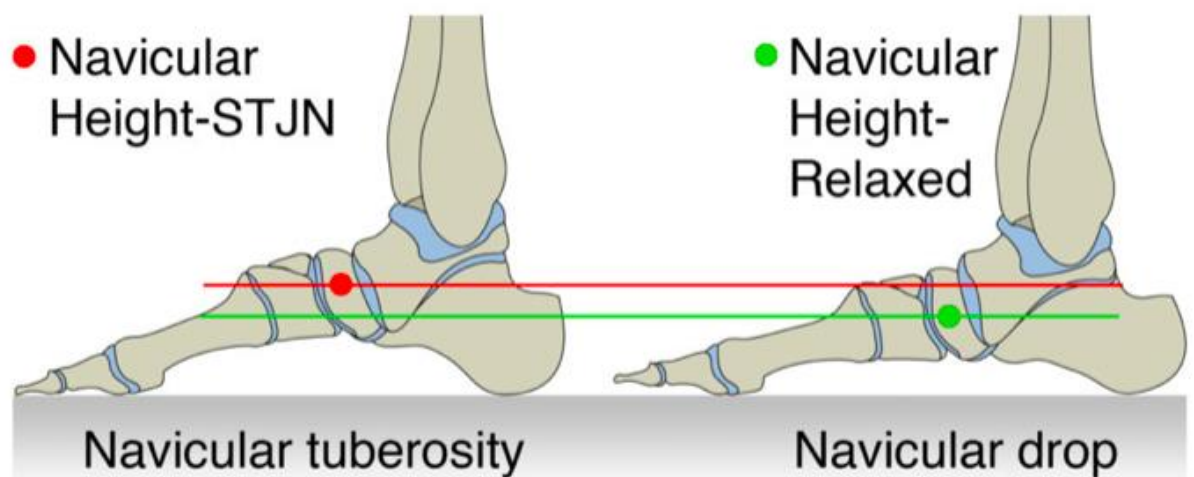
Mesure	Article	Résultats						
		Short-foot	Toe-curl / Towel-curl	Toe-spread-out	Hallux-extension	Lesser-toe-extension	Veie's Forward Lean	NMES Reverse Tandem Gait
Equilibre statique	Mulligan (2013) - IFMT	X						
	Lynn (2012)	X	X					
Equilibre dynamique	Mulligan (2013) - SEBT	X						
	Lynn (2012)	X	X					
Tests fonctionnels	Kim (2016)	X						
	Hashimoto (2014)	X	X					
	Sulowska (2016)	X			X	X		
	Okamura (2018) - During gait						X	
Performance motrice	Okamura (2018) - Flat-footed subjects						X	
	Fraser (2018) - Echelle de Bérard	X	X	X				
Fatigue	Ebrecht (2018)						X	

Annexe 6 : Tests et échelles

Arch Height Index



Navicular Drop Test



Foot Posture Index 6-item

Foot Posture Index (6-item) Datasheet

Patient name _____

ID number _____

COMPONENT		PLANE	SCORE 1		SCORE 2		SCORE 3	
			Left (-2 to +2)	Right (-2 to +2)	Left (-2 to +2)	Right (-2 to +2)	Left (-2 to +2)	Right (-2 to +2)
Rearfoot	Talar head palpation	Transverse						
	Curves above and below lateral malleoli.	Frontal/ trans						
	Inversion/eversion of the calcaneus	Frontal						
Forefoot	Bulge in the region of the TNJ	Transverse						
	Congruence of the medial longitudinal arch	Sagittal						
	Abduction/adduction of the forefoot on the rear foot (too-many-toes).	Transverse						
TOTAL								

	-2	-1	0	1	2
Talar head palpation	Talar head palpable on lateral side/ but not on medial side	Talar head palpable on lateral side/ slightly palpable on medial side	Talar head equally palpable on lateral and medial side	Talar head slightly palpable on lateral side/ palpable on medial side	Talar head not palpable on lateral side/ but palpable on medial side
Supra and infra lateral malleolar curvature	Curve below the malleolus either straight or convex	Curve below the malleolus concave, but flatter/ more than the curve above the malleolus	Both infra and supra malleolar curves roughly equal	Curve below the malleolus more concave than curve above malleolus	Curve below the malleolus markedly more concave than curve above malleolus
Calcaneal frontal plane position	More than an estimated 5° inverted (varus)	Between vertical and an estimated 5° inverted (varus)	Vertical	Between vertical and an estimated 5° everted (valgus)	More than an estimated 5° everted (valgus)
Prominence in the region of the talonavicular joint (TNJ)	Area of TNJ markedly concave	Area of TNJ slightly, but definitely concave	Area of TNJ flat	Area of TNJ bulging slightly	Area of TNJ bulging markedly
Congruence of the medial longitudinal arch	Arch high and acutely angled towards the posterior end of the medial arch	Arch moderately high and slightly acute posteriorly	Arch height normal and concentrically curved	Arch lowered with some flattening in the central portion	Arch very low with severe flattening in the central portion - arch making ground contact
Abduction/adduction of the forefoot on the rearfoot	No lateral toes visible. Medial toes clearly visible	Medial toes clearly more visible than lateral	Medial and lateral toes equally visible	Lateral toes clearly more visible than medial	No medial toes visible. Lateral toes clearly visible

Annexe 7 : Echelles d'analyse d'article

Échelle PEDro – Français

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

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

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

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

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

Précisions pour l'utilisation de l'échelle PEDro:

Tous les critères **Les points sont attribués uniquement si le critère est clairement respecté**. Si, lors de la lecture de l'étude, on ne retrouve pas le critère explicitement rédigé, le point ne doit pas être attribué à ce critère.

Critère 1 Ce critère est respecté si l'article décrit la source de recrutement des sujets et une liste de critères utilisée pour déterminer qui était éligible pour participer à l'étude.

Critère 2 Une étude est considérée avoir utilisé une *répartition aléatoire* si l'article mentionne que la répartition entre les groupes a été faite au hasard. La méthode précise de répartition aléatoire n'a pas lieu d'être détaillée. Des procédures comme pile ou face ou le lancé de dés sont considérées comme des méthodes de répartition aléatoire. Les procédures quasi-aléatoires, telles que la répartition selon le numéro de dossier hospitalier ou la date de naissance, ou le fait de répartir alternativement les sujets dans les groupes, ne remplissent pas le critère.

Critère 3 Une *assignation secrète* signifie que la personne qui a déterminé si un sujet répondait aux critères d'inclusion de l'étude ne devait pas, lorsque cette décision a été prise, savoir dans quel groupe le sujet serait admis. Un point est attribué pour ce critère, même s'il n'est pas précisé que l'assignation est secrète, lorsque l'article mentionne que la répartition a été réalisée par enveloppes opaques cachetées ou que la répartition a été réalisée par table de tirage au sort en contactant une personne à distance.

Critère 4 Au minimum, lors d'études concernant des interventions thérapeutiques, l'article doit décrire au moins une mesure de la gravité de l'affection traitée et au moins une mesure (différente) sur l'un des critères de jugement essentiels en début d'étude. L'évaluateur de l'article doit s'assurer que les résultats des groupes n'ont pas de raison de différer de manière cliniquement significative du seul fait des différences observées au début de l'étude sur les variables pronostiques. Ce critère est respecté, même si les données au début de l'étude ne sont présentées que pour les sujets qui ont terminé l'étude.

Critères 4, 7-11 Les *critères de jugement* essentiels sont ceux dont les résultats fournissent la principale mesure de l'efficacité (ou du manque d'efficacité) du traitement. Dans la plupart des études, plus d'une variable est utilisée pour mesurer les résultats.

Critères 5-7 Être "*en aveugle*" signifie que la personne en question (sujet, thérapeute ou évaluateur) ne savait pas dans quel groupe le sujet avait été réparti. De plus, les sujets et les thérapeutes sont considérés être "en aveugle" uniquement s'il peut être attendu qu'ils ne sont pas à même de faire la distinction entre les traitements appliqués aux différents groupes. Dans les essais dans lesquels les critères de jugement essentiels sont autoévalués par le sujet (ex. échelle visuelle analogique, recueil journalier de la douleur), l'évaluateur est considéré être "en aveugle" si le sujet l'est aussi.

Critère 8 Ce critère est respecté uniquement si l'article mentionne explicitement *à la fois* le nombre de sujets initialement répartis dans les groupes *et* le nombre de sujets auprès de qui les mesures ont été obtenues pour les critères de jugement essentiels. Pour les essais dans lesquels les résultats sont mesurés à plusieurs reprises dans le temps, un critère de jugement essentiel doit avoir été mesuré pour plus de 85% des sujets à l'une de ces reprises.

Critère 9 Une *analyse en intention* de traiter signifie que, lorsque les sujets n'ont pas reçu le traitement (ou n'ont pas suivi l'intervention contrôle) qui leur avait été attribué, et lorsque leurs résultats sont disponibles, l'analyse est effectuée comme si les sujets avaient reçu le traitement (ou avaient suivi l'intervention contrôle) comme attribué. Ce critère est respecté, même sans mention d'une analyse en intention de traiter si l'article mentionne explicitement que tous les sujets ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle comme attribué.

Critère 10 Une comparaison statistique *intergroupe* implique une comparaison statistique d'un groupe par rapport à un autre. Selon le plan expérimental de l'étude, cela peut impliquer la comparaison de deux traitements ou plus, ou la comparaison d'un traitement avec une intervention contrôle. L'analyse peut être une simple comparaison des résultats mesurés après administration des traitements, ou une comparaison du changement dans un groupe au changement dans un autre (quand une analyse factorielle de variance a été utilisée pour analyser les données, ceci est souvent indiqué sous la forme d'une interaction groupe x temps). La comparaison peut prendre la forme d'un test sous hypothèses (qui produit une valeur "p", décrivant la probabilité que les groupes diffèrent uniquement du fait du hasard) ou prendre la forme d'une estimation (par exemple: différence de moyennes ou de médianes, différence entre proportions, nombre nécessaire de sujets à traiter, risque relatif ou rapport de risque instantané dit "hazard ratio") et de son intervalle de confiance.

Critère 11 Une *estimation de l'effet* est une mesure de la taille de l'effet du traitement. L'effet du traitement peut être décrit soit par une différence entre les groupes, soit par le résultat au sein (de chacun) de tous les groupes. Les *estimations de la variabilité* incluent les écarts-types, les erreurs standards, les intervalles de confiance, les intervalles interquartiles (ou autres quantiles) et les étendues. Les estimations de l'effet et/ou de la variabilité peuvent être fournies sous forme graphique (par exemple, les écarts-types peuvent être représentés sous forme de barres d'erreurs dans une figure) à la condition expresse que le graphique soit clairement légendé (par exemple, qu'il soit explicite que ces barres d'erreurs représentent des écarts-type ou des erreurs-standard). S'il s'agit de résultats classés par catégories, ce critère est considéré respecté si le nombre de sujets de chaque catégorie est précisé pour chacun des groupes.

Grille d'analyse STROBE

Tableau 1. Traduction française originale de la liste de contrôle STROBE.

Item N° Recommandation		
Titre et résumé	1	(a) Indiquer dans le titre ou dans le résumé le type d'étude réalisée en termes couramment utilisés (b) Fournir dans le résumé une information synthétique et objective sur ce qui a été fait et ce qui a été trouvé
Introduction		
Contexte/justification	2	Expliquer le contexte scientifique et la légitimité de l'étude en question
Objectifs	3	Citer les objectifs spécifiques, y compris toutes les hypothèses <i>a priori</i>
Méthodes		
Conception de l'étude	4	Présenter les éléments clés de la conception de l'étude en tout début de document
Contexte	5	Décrire le contexte, les lieux et les dates pertinentes, y compris les périodes de recrutement, d'exposition, de suivi et de recueil de données
Population	6	(a) <i>Étude de cohorte</i> – Indiquer les critères d'éligibilité, et les sources et méthodes de sélection des sujets. Décrire les méthodes de suivi <i>Étude cas-témoin</i> – Indiquer les critères d'éligibilité, et les sources et méthodes pour identifier les cas et sélectionner les témoins. Justifier le choix des cas et des témoins <i>Étude transversale</i> – Indiquer les critères d'éligibilité et les sources et méthodes de sélection des participants (b) <i>Étude de cohorte</i> – Pour les études appariées, indiquer les critères d'appariement et le nombre de sujets exposés et non exposés <i>Étude cas-témoin</i> – Pour les études appariées, indiquer les critères d'appariement et le nombre de témoins par cas
Variables	7	Définir clairement tous les critères de résultats, les expositions, les facteurs de prédiction, les facteurs de confusion potentiels, et les facteurs d'influence. Indiquer les critères diagnostiques, le cas échéant
Sources de données/mesures	8*	Pour chaque variable d'intérêt, indiquer les sources de données et les détails des méthodes d'évaluation (mesures). Décrire la comparabilité des méthodes d'évaluation s'il y a plus d'un groupe
Biais	9	Décrire toutes les mesures prises pour éviter les sources potentielles de biais
Taille de l'étude	10	Expliquer comment a été déterminé le nombre de sujets à inclure
Variables quantitatives	11	Expliquer comment les variables quantitatives ont été traitées dans les analyses. Le cas échéant, décrire quels regroupements ont été effectués et pourquoi
Analyses statistiques	12	(a) Décrire toutes les analyses statistiques, y compris celles utilisées pour contrôler les facteurs de confusion (b) Décrire toutes les méthodes utilisées pour examiner les sous-groupes et les interactions (c) Expliquer comment les données manquantes ont été traitées (d) <i>Étude de cohorte</i> – Le cas échéant, expliquer comment les perdus de vue ont été traités <i>Étude cas-témoin</i> – Le cas échéant, expliquer comment l'appariement des cas et des témoins a été réalisé <i>Étude transversale</i> – Le cas échéant, décrire les méthodes d'analyse qui tiennent compte de la stratégie d'échantillonnage (e) Décrire toutes les analyses de sensibilité
Résultats		
Population	13*	(a) Rapporter le nombre d'individus à chaque étape de l'étude – par exemple : potentiellement éligibles, examinés pour l'éligibilité, confirmés éligibles, inclus dans l'étude, complètement suivis, et analysés (b) Indiquer les raisons de non-participation à chaque étape (c) Envisager l'utilisation d'un diagramme de flux
Données descriptives	14*	(a) Indiquer les caractéristiques de la population étudiée (par exemple : démographiques, cliniques, sociales) et les informations sur les expositions et les facteurs de confusion potentiels (b) Indiquer le nombre de sujets inclus avec des données manquantes pour chaque variable d'intérêt (c) <i>Étude de cohorte</i> – Résumer la période de suivi (par exemple : nombre moyen et total)

Tableau I. Traduction française originale de la liste de contrôle STROBE (suite).

	Item N°	Recommandation
Données obtenues	15*	<i>Étude de cohorte</i> – Rapporter le nombre d'événements survenus ou les indicateurs mesurés au cours du temps <i>Étude cas-témoin</i> – Reporter le nombre de sujets pour chaque catégorie d'exposition, ou les indicateurs du niveau d'exposition mesurés <i>Étude transversale</i> – Reporter le nombre d'événements survenus ou les indicateurs mesurés
Principaux résultats	16	(a) Indiquer les estimations non ajustées et, le cas échéant, les estimations après ajustement sur les facteurs de confusion avec leur précision (par exemple : intervalle de confiance de 95 %). Expliciter quels facteurs de confusion ont été pris en compte et pourquoi ils ont été inclus (b) Indiquer les valeurs bornes des intervalles lorsque les variables continues ont été catégorisées (c) Selon les situations, traduire les estimations de risque relatif en risque absolu sur une période de temps (cliniquement) interprétable
Autres analyses	17	Mentionner les autres analyses réalisées—par exemple : analyses de sous-groupes, recherche d'interactions, et analyses de sensibilité
Discussion		
Résultats clés	18	Résumer les principaux résultats en se référant aux objectifs de l'étude
Limitations	19	Discuter les limites de l'étude, en tenant compte des sources de biais potentiels ou d'imprécisions. Discuter du sens et de l'importance de tout biais potentiel
Interprétation	20	Donner une interprétation générale prudente des résultats compte tenu des objectifs, des limites de l'étude, de la multiplicité des analyses, des résultats d'études similaires, et de tout autre élément pertinent
« Généralisabilité »	21	Discuter la « généralisabilité » (validité externe) des résultats de l'étude
Autre information		
Financement	22	Indiquer la source de financement et le rôle des financeurs pour l'étude rapportée, le cas échéant, pour l'étude originale sur laquelle s'appuie l'article présenté

Grille d'évaluation PRISMA

Tableau I. Traduction française originale de la liste de contrôle PRISMA 2009.

Section/sujet	N°	Critères de contrôle	Page N°
TITRE			
Titre	1	Identifier le rapport comme une revue systématique, une méta-analyse, ou les deux.	
RÉSUMÉ			
Résumé structuré	2	Fournir un résumé structuré incluant, si applicable : contexte ; objectifs ; sources des données ; critères d'éligibilité des études, populations, et interventions ; évaluation des études et méthodes de synthèse ; résultats ; limites ; conclusions et impacts des principaux résultats ; numéro d'enregistrement de la revue systématique.	
INTRODUCTION			
Contexte	3	Justifier la pertinence de la revue par rapport à l'état actuel des connaissances.	
Objectifs	4	Déclarer explicitement les questions traitées en se référant aux participants, interventions, comparaisons, résultats, et à la conception de l'étude (PICOS ^a).	
MÉTHODE			
Protocole et enregistrement	5	Indiquer si un protocole de revue de la littérature existe, s'il peut être consulté et où (par exemple, l'adresse web), et, le cas échéant, fournir des informations d'identification, y compris le numéro d'enregistrement.	
Critères d'éligibilité	6	Spécifier les caractéristiques de l'étude (par exemple, PICOS, durée de suivi) et les caractéristiques du rapport (par exemple, années considérées, langues, statuts de publication) utilisées comme critères d'éligibilité, et justifier ce choix.	
Sources d'information	7	Décrire toutes les sources d'information (par exemple : bases de données avec la période couverte, échange avec les auteurs pour identifier des études complémentaires) de recherche et la date de la dernière recherche.	
Recherche	8	Présenter la stratégie complète de recherche automatisée d'au moins une base de données, y compris les limites décidées, de sorte qu'elle puisse être reproduite.	
Sélection des études	9	Indiquer le processus de sélection des études (c.-à-d. : triage, éligibilité, inclusion dans la revue systématique, et, le cas échéant, inclusion dans la méta-analyse).	
Extraction des données	10	Décrire la méthode d'extraction de données contenues dans les rapports (par exemple : formulaires pré-établis, librement, en double lecture) et tous les processus d'obtention et de vérification des données auprès des investigateurs.	
Données	11	Lister et définir toutes les variables pour lesquelles des données ont été recherchées (par exemple : PICOS, sources de financement) et les suppositions et simplifications réalisées.	
Risque de biais inhérent à chacune des études	12	Décrire les méthodes utilisées pour évaluer le risque de biais de chaque étude (en spécifiant si celui-ci se situe au niveau de l'étude ou du résultat), et comment cette information est utilisée dans la synthèse des données.	
Quantification des résultats	13	Indiquer les principales méthodes de quantification des résultats (par exemple : <i>risk ratio</i> , différence entre les moyennes).	
Synthèse des résultats	14	Décrire les méthodes de traitement des données et de combinaison des résultats des études, si effectué, y compris les tests d'hétérogénéité (par exemple : I^2) pour chaque méta-analyse.	
Risque de biais transversal aux études	15	Spécifier toute quantification du risque de biais pouvant altérer le niveau de preuve global (par exemple : biais de publication, rapport sélectif au sein des études).	
Analyses complémentaires	16	Décrire les méthodes des analyses complémentaires (par exemple : analyses de sensibilité ou en sous-groupes, méta-régression), si effectuées, en indiquant celles qui étaient prévues <i>a priori</i> .	

Tableau I. Traduction française originale de la liste de contrôle PRISMA 2009 (suite).

Section/sujet	N°	Critères de contrôle	Page N°
RÉSULTATS			
Sélection des études	17	Indiquer le nombre d'études triées, examinées en vue de l'éligibilité, et incluses dans la revue, avec les raisons d'exclusion à chaque étape, de préférence sous forme d'un diagramme de flux.	
Caractéristiques des études sélectionnées	18	Pour chaque étude, présenter les caractéristiques pour lesquelles des données ont été extraites (par exemple : taille de l'étude, PICOS, période de suivi) et fournir les références.	
Risque de biais relatif aux études	19	Présenter les éléments sur le risque de biais de chaque étude et, si possible, toute évaluation des conséquences sur les résultats (voir item 12).	
Résultats de chaque étude	20	Pour tous les résultats considérés (positifs ou négatifs), présenter, pour chaque étude : (a) une brève synthèse des données pour chaque groupe d'intervention ; (b) les amplitudes d'effets estimés et leurs intervalles de confiance, idéalement avec un graphique en forêt (<i>forest plot</i>).	
Synthèse des résultats	21	Présenter les principaux résultats de chaque méta-analyse réalisée, incluant les intervalles de confiance et les tests d'hétérogénéité.	
Risque de biais transversal aux études	22	Présenter les résultats de l'évaluation du risque de biais transversal aux études (voir item 15).	
Analyse complémentaire	23	Le cas échéant, donner les résultats des analyses complémentaires (par exemple : analyses de sensibilité ou en sous-groupes, méta-régression [voir item 16]).	
DISCUSSION			
Synthèse des niveaux de preuve	24	Résumer les principaux résultats, ainsi que leur niveau de preuve pour chacun des principaux critères de résultat ; examiner leur pertinence selon les publics concernés (par exemple : établissements ou professionnels de santé, usagers et décideurs).	
Limites	25	Discuter des limites au niveau des études et de leurs résultats (par exemple : risque de biais), ainsi qu'au niveau de la revue (par exemple : récupération incomplète de travaux identifiés, biais de notification).	
Conclusions	26	Fournir une interprétation générale des résultats dans le contexte des autres connaissances établies, et les impacts pour de futures études.	
FINANCEMENT			
Financement	27	Indiquer les sources de financement de la revue systématique et toute autre forme d'aide (par exemple : fourniture de données) ; rôle des financeurs pour la revue systématique.	

*Note du traducteur : Patient, problem or population, Intervention, Comparison, control or comparator, Outcomes, Study design

Annexe 8 : Grille de lecture critique d'article

L'information se trouve-t-elle dans l'article ?	L'information trouvée est-elle adaptée et pertinente à la question posée ?	Si l'information trouvée est non adaptée ou non pertinente en rapport avec la question posée, cela menace-t-il la validité de l'étude, sa fiabilité et sa crédibilité ?
Objectifs	Existence d'une hypothèse ?	Validité de l'étude menacée ?
Type d'études	Type d'étude appropriée ?	Utilité des résultats ?
Facteur étudié (exposition, intervention et diagnostic)	Description adaptée ? Quelle méthode de mesure ?	Validité de l'étude menacée ?
Critère de jugement	Méthode de mesure adaptée ?	Validité de l'étude menacée ?
Population source et sujets	Méthode d'inclusion utilisée ? Méthode d'inclusion adaptée ?	Validité interne et externe menacée ?
Facteurs de confusion et biais	Les biais et les facteurs de confusion envisagés et contrôlés ?	Invalidité des résultats ?
Statistiques	Validité (taille échantillon, puissance de tests, effets cliniques) ?	Utilité de l'étude ?
Résultats (réponses à la question, vérification de l'hypothèse et objectif atteint)	Réponse à l'hypothèse ?	Validité ? Applicabilité ?

Annexe 9 : Fiches de lecture

Fiche de lecture 1

AUTEUR	Edward P. Mulligan, Patrick G. Cook
TITRE	<i>Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function</i>
TYPE DE DOCUMENT	Article scientifique
SOURCE	Manual Therapy, volume 18
DATE DE PARUTION	2013
NOMBRE DE PAGES (n° de pages)	6 pages (p.425-430)
PLAN DE L'ARTICLE	I. Introduction II. Méthode a) Sujets b) Procédures c) Intervention III. Data analysis IV. Résultats V. Analyse VI. Discussion VII. Conclusion
ELEMENTS DE L'ARTICLE EN LIEN AVEC LA PROBLEMATIQUE :	Mots-clés : medial longitudinal arch, navicular drop, short foot exercise, plantar intrinsic foot muscle Eléments détaillés en lien avec le sujet : I. Introduction Le but de cette étude est d'évaluer l'impact de 4 semaines de programme d'entraînement des muscles intrinsèques sur le support actif de l'arche longitudinale médiale et ensuite leur capacité à la contrôler de façon dynamique dans les tâches fonctionnelles. II. Méthode Un pré-test et post-test ont été mis en place pour cette étude pilote. Variables dépendantes : chute de l'os naviculaire (amount of navicular drop), index de hauteur de l'arche (arch height index), performance des muscles intrinsèques, Star Excursion Balance Test (SEBT) mesuré à 4 semaines puis 8 semaines. a) Sujets 21 sujets « asymptomatiques » (soit 42 pieds) volontaires : 3 hommes, 18 femmes. Age : entre 22 et 36 ans <u>Critères d'exclusion :</u> -n'importe quelle douleur au pied, -antécédent de syndrome fémoro-patellaire, ou de fasciite plantaire ou de dysfonction des muscles tibial antérieur et postérieur ou de pathologie systémique ou neurologique dans les 6 derniers mois pouvant affecter la fonction motrice. -Aucun des sujets n'a eu d'expérience passée avec le renforcement des muscles intrinsèques du pied. b) Procédures Les mesures ont été effectuées par des évaluateurs en simple-aveugle. La chute de l'os naviculaire a été mesurée via le Navicular Drop Test (décrit par Brody 1982). Les sujets ont été installés sur une chaise sur une plateforme surélevée, les hanches et les genoux à 90°.

	Dans cette position ont été effectués : -Navicular Drop Test -Arch Height Index Ces mesures ont été reprise en position relaxée du pied. L'index de rigidité de l'arche a également été calculé. La capacité de contrôle de la position de l'os naviculaire et de l'utilisation des muscles intrinsèques a été mesurée par le IFMT Intrinsic Foot muscle Test. La compétence fonctionnelle a été évaluée par le Star Excursion Balance Test. <i>c) Interventions</i> Une première session d'une heure a été effectuée pour apprendre aux sujets le short-foot exercise (sans utiliser musculature extrinsèque) et la progression de l'exercice. Ensuite chaque sujet a effectué son entraînement sensori-moteur avec le SFE chaque jour pendant 4 semaines à la maison. Chaque session dure 3 minutes : le sujet répète les contractions et chaque répétition est tenue 5 secondes (total de 30 répétitions). La difficulté de l'exercice a augmenté lorsque le sujet sentait qu'il pouvait effectuer l'exercice sans difficulté les 3 minutes et qu'il n'avait pas de courbatures le lendemain. Progression : d'abord assis, puis debout sur 2 pieds, puis sur 1 pied. 20 sujets ont réussi à finir le programme sur 1 pied (sur une moyenne de 19 jours). Les sujets ont dû enregistrer leurs exercices et noter : la position dans laquelle ils ont réalisé l'exercice, l'aide pour l'équilibre, s'ils avaient une aide visuelle (yeux ouverts ou fermés), la surface sur laquelle ils étaient, si le membre inférieur opposé a été sollicité pendant l'exercice pour aider au maintien de l'équilibre. Il a été demandé aux sujets de ne pas continuer pendant les 4 semaines suivant l'intervention les exercices. III. Data analysis Hauteur de l'os naviculaire et les distances répétées du SEBT ont été analysées via un test ANOVA à 4 semaines puis 8 semaines post-intervention. L'erreur acceptée de 5%. IV. Résultats Compliance : 85% ; moyenne des sessions d'entraînement par semaine : 5,9. • Navicular drop (ND) : -Moyenne initiale : 12,7mm +/- 6,0mm -A 4 semaines : 10,9mm +/- 5,5mm → $p=0,04$ -A 8 semaines : 10,5mm +/- 5,7mm → $p=0,01$ Il y a donc une diminution significative du ND entre S0 et la fin des 4 semaines d'entraînement (S4) et S0 et la fin de S8. En revanche il n'y a pas de différence significative entre le ND de la 4^{ème} et de la 8^{ème} semaine après l'arrêt des exercices. • Arch Height Index (AHI) -Moyenne initiale, debout : 28mm +/- 2mm -A 4 semaines : 29mm +/- 2mm → $p=0,03$ -A 8 semaines : 29mm +/- 2mm → $p=0,03$ Il y a une différence significative entre l'AHI initial (S0) et celui mesuré à 4 semaines et 8 semaines, mais pas entre la 4^{ème} et la 8^{ème} semaine. • Intrinsic Foot Muscle Test (IFMT) Différence significative entre la mesure initiale et la mesure à 4 semaines, la mesure initiale et la mesure à S8, mais pas entre la 4^{ème} et la 8^{ème} semaine. Sur les 42 pieds, 25 (59%) ont amélioré leur grade de performance, 15 (36%) n'ont rien changé et 2 (5%) ont eu un moins bon score. • Star Excursion Balance Test (SEBT) Il y a une augmentation significative de la distance atteinte dans les différentes directions entre S0 et S4 et S0 et S8, sauf pour la direction antérieure où $p=0,075$. De même il n'existe pas de différence significative de distance atteinte entre la 4^{ème} et la 8^{ème} semaine (exceptée pour la direction postéro-médiale où la différence est significative). V. Discussion
--	---

	Ces résultats suggèrent que le simple programme d'entraînement a un impact sur le navicular drop, la morphologie de l'arche (hauteur), la fonction statique et dynamique dans une population asymptomatique. Ces résultats sont corrélés avec les études mesurant l'activité musculaire des muscles intrinsèques, proposant un rôle et une fonction de support de l'arche médiale longitudinale. Cette étude met en évidence que les muscles améliorent le navicular drop mais peuvent également avoir une action sur le AHI et que les résultats perdurent dans le temps (de la 4ème à la 8ème semaines). Il est important de noter qu'il n'existe pas de gold standard pour mesurer la force isolée des muscles intrinsèques ; ces résultats mettent donc en évidence de manière indirecte l'influence de l'entraînement de ces muscles. Limites de cette étude : l'échantillon est petit et pas forcément représentatif de la population. De plus, l'étude présume que la chute de l'os naviculaire et les altérations de l'index de hauteur de l'arche sont des prédicteurs de la modification de l'arche médiale longitudinale et par extension que les altérations de cette arche sont à l'origine de blessures et de micro-pathologies du membre inférieur. De même les sujets ont été éduqués au short foot exercice avant les mesures de base et ont pu influencer les résultats des tests initiaux. VI. Conclusion Il est possible que les muscles intrinsèques du pied aient un rôle dans le contrôle dynamique de l'arche médiale longitudinale. L'entraînement pourrait avoir un rôle de prévention.
COMMENTAIRE OU QUESTIONNEMENT SECONDAIRE	<u>Type étude</u> : étude pilote, étude interventionnelle de type pré-post test, protocole quasi-expérimental, grade C → il vaudrait mieux un essai contrôlé randomisé. <u>Facteur étudié</u> : renforcement neuro-musculaire via le short-foot exercice <u>Critère de jugement</u> : chute de l'os naviculaire (amount of navicular drop), index de hauteur de l'arche (arch height index), performance des muscles intrinsèques via le Intrinsic Foot muscle Test (IFMT), compétence fonctionnelle via le Star Excursion Balance Test (SEBT) Validité interne menacée : pas de double-insu, pas de randomisation, pas de contrôle. Validité externe un peu menacée, l'échantillon n'est pas très représentatif de la population, mais les données sont en accord avec la littérature. Facteur de confusion et biais : -Faible échantillon, population saine et jeune (non représentatif de la population générale) -Biais de réalisation/suivi : pas de double insu (simple-insu) mais difficile de faire autrement -Biais de sélection : pas de randomisation -Biais de confusion : pas de contrôle des exercices réalisés par les patients à la maison, peut-être qu'un élément extérieur intervient malgré les consignes -Biais de mesure : pas de contrôle de l'utilisation des muscles extrinsèques (pas de gold standard pour les muscles intrinsèques) Etude intéressante ouvre des portes à différentes pistes de recherche. Il faudrait réaliser une étude plus fiable pour généraliser ces résultats.

Fiche de lecture 2

AUTEUR	Lynn Scott K., Padilla Ricardo A., Tsang Kavin K.W.
TITRE	<i>Differences in static- and dynamic-balance task performance after 4 weeks of intrinsic-foot-muscle training : the short-foot exercise versus the towel-curl exercise</i>
TYPE DE DOCUMENT	Article scientifique
SOURCE	Journal of Sport Rehabilitation, volume 21
DATE DE PARUTION	2012
NOMBRE DE PAGES (n° de pages)	7 pages (p.327-333)
PLAN DE L'ARTICLE	I. Introduction II. Méthode a) Design b) Participants c) Instrumentation d) Procédure e) Data analysis III. Résultats IV. Discussion V. Conclusion
ELEMENTS DE L'ARTICLE EN LIEN AVEC LA PROBLEMATIQUE	Mots-clés : biomechanics, medial-longitudinal arch, Y balance test, foot pronation
	Eléments détaillés en lien avec le sujet : I. Introduction <u>Hypothèse</u> : Une force adéquate, de l'endurance et un contrôle neuro-musculaire des IFM pourraient être importants pour le support de la MLA, tandis qu'une dysfonction de ces muscles pourraient prédisposer les patients aux pathologies liées à la pronation du pied. <u>Objectif</u> : comparer les effets du renforcement traditionnel des IFM qu'est le towel-curl exercise avec ceux du short-foot exercise lors de tâches en équilibre statique et dynamique sur une jambe. II. Méthode a) Design Essai contrôlé randomisé. 3 groupes : - Groupe 1 : short foot exercise group (SFE) - Groupe 2 : towel-curl exercise group (TC) - Groupe 3 : groupe contrôle (CG) Variables indépendantes : temps (pré et post intervention) et les groupes Variables dépendantes : amplitude du mouvement médio-latéral du centre de pression lors de tests en d'équilibre statique et dynamique avec une version modifiée du NDT (mesure seule de la hauteur du naviculaire en position debout avant et après l'intervention) b) Participants 30 participants sains ont été volontaires : 15 hommes et 15 femmes. Après le testing initial ils ont été assignés à des groupes (randomisation) de 10 participants chacun. 2 participants de chaque groupe (total de 6) sont sortis de l'étude pour d'autres raisons que celles de l'étude. <u>Critères d'exclusion</u> : -Pas d'antécédents de pathologie du membre inférieur ou de pathologies lombaires dans les 6 mois précédents -Pas d'antécédent de pathologies ou troubles neurologiques diagnostiqués qui pourraient altérer l'équilibre c) Instrumentation Pendant les tests d'équilibre statiques et dynamiques les participants ont été placés sur un plateau mesurant la position du centre de pression (x), et que les mouvements réalisés ensuite dans l'axe y ont été assimilés aux mouvements médio-latéraux du centre de pression sous le pied. Un marqueur réflectif a été posé sur le pied des participants pour identifier les différentes phases d'équilibre dynamique.

	d) Procédure <u>Critères de jugement</u> : performance en équilibre statique et dynamique et hauteur naviculaire - Mesure de la hauteur de la MLA avec une version modifiée du NDT (debout) - Tests de l'équilibre statique et dynamique sur 1 pied sur la plateforme : 3 essais pour chaque test et pour chaque pied. <i>Test statique</i> : tenu sur 1 pied 30 secondes. Mains sur les hanches et regard fixé au mur (X). Essai invalide si les mains quittent les hanches ou si le pied controlatéral touche le sol. <i>Test dynamique</i> : Y-balance test (version modifiée du SEBT). Sur 1 pied, amener le pied controlatéral dans des directions antérieures, postéro-médiale et postéro-latérale. La distance du grand trochanter au sol a été mesurée et un pourcentage a été calculé pour déterminer la distance à atteindre sur le Y dans chaque direction. Les participants doivent atteindre les points calculés sans toucher le sol et revenir dans la position initiale avant de repartir dans une autre direction. L'ordre des tests a été randomisé. La dispersion médio-latérale du centre de pression a été investiguée et examinée en tant que représentante des mouvements de prono-supination du pied ; des mouvements dispersés induiraient une performance diminuée et un maintien moins important de la MLA. Les valeurs maximales et minimales atteintes des positions médio-latérales du centre de pression ont été enregistrées pour chaque test d'équilibre. Les participants ont été répartis en 3 groupes en suivant une randomisation. Un test ANOVA a déterminé qu'il n'y avait pas de différence significative entre ces groupes avant l'intervention. - SFE group : retour 1 semaine après les tests pour l'entraînement. Contraction de 5 secondes pour chaque répétition de l'exercice ; élévation MLA sans flexion des orteils en ramenant l'articulation métatarso-phalangienne vers le talon. - TCE group : retour 1 semaine après les tests pour l'entraînement. Placer une serviette sous le pied et ramener la serviette sous le pied après flexion des orteils et agripper fortement pendant 5 secondes pour chaque répétition. → 100 répétitions par jour pour chaque groupe pendant 4 semaines. Progression : les 2 premières semaines les participants ont réalisé l'exercice assis, pour la 3^{ème} et la 4^{ème} semaine ils étaient en position debout. Exercices réalisés à la maison et contact par téléphone 1 fois par semaine pour évaluer les progrès, et retour au laboratoire avant le début de la 3^{ème} semaine pour recevoir les instructions de la progression. Retour au laboratoire la 5^{ème} semaine après le test initial pour être retesté. e) Data analysis Tests ANOVA utilisés pour les mesures répétées pour chaque variable dépendante. Mesures répétées T-test pour les différences pré et post test. $p < 0,05$ III. Résultats Effets significatifs ont été observés pour le test de l'équilibre dynamique (Y-balance test) seulement pour la jambe dominante et non dominante. Pas d'effets significatifs quelle que soit la jambe pour le test de l'équilibre statique (jambe dominante $p = 0,309$ et non dominante $p = 0,650$), ni pour la hauteur naviculaire en position statique debout (jambe dominante $p = 0,265$ et non dominante $p = 0,752$). - Pour la position médio-latérale du centre de pression pendant l'équilibre dynamique sur la <u>jambe dominante</u> il y a un effet général significatif $p < 0,01$ mais pas d'interaction générale significative $p = 0,812$. Ainsi, les 3 groupes ont eu une diminution significative du mouvement médio-latéral du centre de pression après la période d'intervention ou de contrôle. - Pour le test de l'équilibre dynamique sur la <u>jambe non-dominante</u> il y a un effet significatif $p < 0,01$ et une interaction significative $p = 0,02$. Seuls les groupes SFE et TCE ont une diminution significative ($p < 0,017$ et $p < 0,017$) du mouvement médio-latéral du centre de pression après l'intervention par rapport au groupe contrôle ($p = 0,906$). IV. Discussion
--	--

	Résultats principaux : 1) les résultats du test d'équilibre statique et de la hauteur naviculaire n'ont pas été affecté par l'entraînement des IFM, 2) pour le membre inférieur dominant une petite amélioration de la performance est observable pour les 3 groupes lors du 2^{ème} testing, 3) pour le membre inférieur non dominant le test d'équilibre dynamique a augmenté pour les 2 groupes d'exercices (SFE et TCE) et le groupe SFE a une amélioration plus importante que le groupe TCE. Les membres dominants et non dominants ont réagi différemment selon les protocoles d'intervention. Les résultats sur le membre non dominant sont inattendus pour tous les groupes (dont le groupe contrôle) avec une petite amélioration après la période d'intervention (moins de mouvements ML du centre de pression). De plus l'amélioration a été similaire dans les 3 groupes ce qui indique que les exercices de renforcement des IFM ont un impact similaire sur la performance que de ne pas faire d'exercices (groupe contrôle). Ces résultats pourraient signifier que dans une population jeune et saine d'individus le membre inférieur dominant fonctionne correctement et ne nécessite pas d'entraînement des IFM pour améliorer sa performance. L'exécution simple de tâches dynamiques complexes sur un pied pourrait être un stimulus suffisant pour améliorer la performance des IFM du membre dominant. Pour le membre non dominant il y a une amélioration significative pour les groupes SFE et TCE mais pas pour le groupe contrôle. Le groupe SFE présente une amélioration plus importante dans la capacité à diminuer le mouvement médio-latéral du centre de pression par rapport au groupe TCE. Le SFE semblerait être un entraînement plus efficace pour contrôler la MLA que le TCE pour le membre non dominant. Le TCE impliquerait plus les muscles extrinsèques que le SFE. Les différences d'un membre dominant et non dominant pourraient être due à la sélection des participants et aux activités qu'ils pratiquent qui pourraient être à l'origine d'un déséquilibre. <u>Limites</u> : petit échantillon, courte période d'intervention (4 semaines), pas de protocole validé pour le Y balance test, pas d'informations sur les participants concernant les pathologies ou les activités des 6 mois précédents l'étude. Conclusion SFE est plus efficace que le TCE pour l'entraînement des IFM pour maintenir la hauteur de la MLA lors de tâches d'équilibre dynamique. Cependant les résultats diffèrent entre le membre dominant et non-dominant, puisque réaliser une tâche d'équilibre complexe sur une jambe augmenterait la performance dans tous les groupes. Les cliniciens devraient faire attention à identifier les déséquilibres entre les membres en termes de fonction des IFM et essayer d'y remédier avec cet exercice. Il apparaît que les effets d'un programme d'entraînement chez des adultes sains et jeunes devrait associer SFE et des tâches d'équilibre complexes sur une jambe pour avoir les meilleurs résultats.
COMMENTAIRE OU QUESTIONNEMENT SECONDAIRE	Essai contrôlé randomisé, grade B Score PEDro : 5/11 Validité interne : quelques biais identifiés mais certains sont contrôlés (groupe contrôle, randomisation) Validité externe : étude intéressante mais il faut investiguer encore cette piste sur la population générale et à plus grande échelle -Biais d'attrition : pas d'analyse en ITT mais per protocole -Faible échantillon, courte période d'intervention, population jeune et saine peu représentative de la population générale -Biais de confusion : pas d'informations sur l'état de santé de la population intégrée des 6 mois précédents, certains facteurs ont pu influencer les résultats -Biais de mesure pour le Y-balance test : pas de protocole validé -Pas d'information sur l'évaluation en aveugle ; biais d'évaluation ou de suivi ?

Fiche de lecture 3

AUTEUR	Fraser John J., Hertel J.
TITRE	<i>Effects of a 4-week intrinsic foot muscle exercise program on motor function : a preliminary randomized control trial</i>
TYPE DE DOCUMENT	Article scientifique
SOURCE	Journal of Sport Rehabilitation
DATE DE PARUTION	2018
NOMBRE DE PAGES	11 pages
PLAN DE L'ARTICLE	I. Introduction II. Méthode a) Design b) Participants c) Instruments d) Procédures e) Statistical analysis III. Résultats a) Clinician motor assessment b) Participant rating of difficulty c) Ultrasound measures of IFM activation IV. Discussion a) Training load and progression b) Clinician motor assessment c) Participant rating of difficulty d) Ultrasound measures of IFM activation e) Clinical & research implications f) Limitations V. Conclusion
ELEMENTS DE L'ARTICLE EN LIEN AVEC LA PROBLEMATIQUE	Mots-clés : motor control, physiology exercise acute adaptation, ankle, exercise performance, rehabilitation, neuromuscular system Eléments détaillés en lien avec le sujet : I. Introduction Objectif : évaluer l'effet d'un programme de 4 semaines à la maison d'exercices des muscles intrinsèques du pied noté sur la difficulté perçue, la performance motrice et l'activation des muscles intrinsèques du pied chez des jeunes adultes asymptomatiques et actifs. II. Méthode a) Design Essai clinique randomisé en parallèle et double-insu. Outcome mesures : évaluation par les participants de la difficulté de la tâche, évaluation par les praticiens de la performance motrice, mesure de l'activation musculaire de l'abducteur de l'hallux, flexor digitorum brevis et quadratus plantae. b) Participants 24 adultes en bonne santé (12 hommes et 12 femmes), pratiquant une activité physique de loisir (20 min activité physique par jour au moins 3 fois par semaine). Age moyen : 21,5 +/- 4,8 ans. Indice de masse corporelle : 23,5 +/- 2,9 kg/m². <u>Critères d'exclusion :</u> - Antécédent d'entorse de cheville ou de pied - Fracture de la jambe ou du pied - Handicap lié à un déficit neuromusculaire du membre inférieur - Déficit neurologique ou vestibulaire affectant l'équilibre - Diabète - Radiculopathie lombo-sacrée - Trouble des tissus mous : maladie de Marfan, syndrome d'Ehler-Danlos - Contre-indications formelles de thérapie manuelle - Personne enceinte c) Instruments USI : Ultrasound Imaging d) Procédures Participants ont répondu à des tests : Foot and Ankle Ability Measure (FAAM) activities of Daily Living et Sport subscales, IdFAI (Functional Ankle Instability), Veterans Rand

12-item (VR-12), Godin Leisure-time Exercise Questionnaire et le 11-item Tampa Scale of Kinesiophobia.

Démonstration des exercices : toe-spread-out, hallux extension, lesser-toe-extension.

Critères de jugement :

- Performance motrice notée par le praticien : échelle développée par Bérard (2005)
- Difficulté perçue par le sujet : échelle de Likert
- USI mesure : mesure via l'imagerie par ultrasons de l'épaisseur des muscles ABH, FDB, QP via le ratio d'activation : mesure de la contraction/mesure du relâchement pour chaque exercice

Randomisation selon le sexe. Le clinicien prenant les mesures initiales était en aveugle tout comme le second clinicien administrant les traitements. Par la suite les deux groupes ont été dévoilés :

- Groupe contrôle : n'a reçu aucune intervention et ne doit pas modifier son activité physique pendant les 4 semaines.
- Groupe d'intervention : toe-spread out exercise (TSO), hallux extension exercise (HEE), lesser-toe-extension exercise (LTEE) et short foot exercise (SFE) à la maison. Evaluation 1 fois par semaine au laboratoire pour adapter la progression. Progression si l'exercice est réalisé sans compensation, lenteur ou difficulté.

Exercises	Exercise Progression Step	Position (Intensity)	Contraction duration (seconds)	Volume of each exercise (sets X repetitions)	Frequency	Total Daily Volume
Toe-Spread-Out	1	Sitting	3 8 20	4 X 15 4 X 8 4 X 3	Three times daily	104 repetitions in 12 sets
Hallux Extension	2	Double limb standing	3 8 20	4 X 15 4 X 8 4 X 3		
Lesser Toe Extension						
Short Foot	3	Single limb standing	3 8 20	4 X 15 4 X 8 4 X 3		

→ Un total de la charge d'entraînement des 4 semaines a été calculé : Somme des : (série x répétitions x coefficient d'intensité)

e) Analyse statistique

Degré de significativité : $p \leq 0,05$. ANOVA test.

III. Résultats

1 seul participant dans le groupe traité est sorti de l'étude (maladie).

Exercise	Week 1		Week 4		p
	Mean	SD	Mean	SD	
Toe-Spread-Out	13.9	6.6	19.1	13.6	.12
Hallux-extension	13.9	6.6	21.6	14.9	.05*
Lesser-Toe-Extension	13.9	6.6	21.8	14.7	.04*
Short-Foot-Exercise	13.9	6.6	21.2	14.9	.06

Après le calcul des charges, on observe une augmentation significative de la charge entre la 1^{ère} et la 4^{ème} semaine pour l'hallux extension et le lesser-toe-extension.

Compliance : 56+/-18%

a) Clinical motor assessment

Amélioration significative de la performance motrice pour le toe-spread-out exercise dans le groupe d'intervention : pre = 1,9+/-0,5, post=2,6+/-0,5 et $p=0,008$ et pas dans le groupe contrôle : pre=2,0+/-0,6, post=2,0+/-0,7 et $p>0,99$. Les autres exercices ne montrent pas d'amélioration significative de la performance motrice entre le groupe traité et le groupe contrôle.

b) Participant rating of difficulty

Le groupe traité perçoit une différence significative de difficulté pendant les exercices de toe-spread-out, hallux-extension et lesser-toe-extension lors de la réévaluation. Pas de changement significatif pour le groupe contrôle.

c) Ultrasound measures of IFM activation

Le groupe traité et le groupe contrôle montrent une augmentation significative de l'activation de l'abducteur de l'hallux lors du toe-spread-out exercise ($p=0,05$). Pas

	d'autre amélioration significative pour les autres exercices et les autres muscles, dans les groupes d'intervention ou groupe contrôle. IV. Discussion Les résultats de cet entraînement de 4 semaines à la maison mettent évidence une amélioration significative de la performance motrice évaluée par les cliniciens et une diminution significative de la perception de difficulté des exercices chez le groupe traité. a) Training load Amélioration significative pour l'hallux-extension et le lesser-toe-exercise mais pas le toe-spread-out ou le short foot exercise. Il est probable que la progression lente des deux derniers exercices soit due à la nouveauté et la complexité des exercices. Progression dépendante de la compliance. b) Clinical motor assessment Amélioration significative de la performance motrice pour le TSO mais pas HEE ou LTEE dans le groupe d'intervention selon l'échelle de Bérard. Petite amélioration non significative dans les deux groupes ; il est possible que dans le groupe contrôle les participants aient assimilé un meilleur contrôle moteur lors des enregistrements des données initiales, suite aux répétitions de mouvements. c) Participant rating of difficulty Diminution significative de la difficulté perçue dans la réalisation des exercices. Résultats étonnant puisqu'ils ne concordent pas forcément avec les résultats de la performance motrice qui sont sensiblement les mêmes. d) USI measures of IFM activation Augmentation significative de l'activation de l'Abd H pour le groupe d'intervention et le groupe contrôle pour le TSO, ce qui est surprenant puisque c'est le seul exercice avec des résultats significatifs pour la performance motrice. Ce peut être dû à la disparité dans l'activation musculaire et la coordination lors de différentes tâches. Les mouvements sont le résultat de la coordination de plusieurs muscles qui travaillent en synergie ; il y a donc une variabilité dans l'activation musculaire selon les mouvements (et donc variabilité dans les mesures). De plus, la mesure par US a été faite sans appui, ce qui a probablement limité les informations cutanées et contribué à la variation de l'activation des IFM pour une même tâche motrice (en comparaison avec l'évaluation selon l'échelle de Bérard qui était avec appui). e) Clinical & research implications Un programme de 4 semaines d'exercices des IFM améliore la performance motrice et réduit la perception de difficulté de la tâche mais n'a pas d'effets significatifs sur l'activation des IFM. Il est possible d dire que les exercices activent les IFM. f) Limitations Petit échantillon, durée devrait être plus longue que 4 semaines, programme à la maison devrait être surveillé, population saine sans pathologie. V. Conclusion Amélioration de la performance motrice et diminution de la difficulté perçue, mais pas d'amélioration de l'activation musculaire significatifs. Mise en évidence du recrutement des IFM lors de ces exercices et qu'il est nécessaire de faire des études supplémentaires pour explorer le rôle de stabilisateurs du pied des IFM.
COMMENTAIRE OU QUESTIONNEMENT SECONDAIRE	Score PEDro : 6/11 Grille Consort : 20/25 items validés Type étude : essai contrôlé randomisé, grade B -Biais de confusion : pas de contrôle de la réalisation des exercices à la maison, amélioration peut être due à d'autres facteurs -Biais de sélection : randomisation en fonction des sexes (répartition dans les groupes 50% H et 50% F) -Petit échantillon, faible puissance, populationsaine et active non représentative -Biais d'attrition : 1 participant du groupe d'intervention sorti de l'étude ; analyse per protocole, pas d'ITT -Biais d'évaluation : sujets non aveugle, biais dans la perception de la difficulté -Clinicien en simple-aveugle

Fiche de lecture 4

AUTEUR	Okamura, K; Kanai, S; Hasegawa, M; Otsuka, A; Oki, S
TITRE	<i>The effect of additional activation of the plantar intrinsic foot muscles on foot dynamics during gait</i>
TYPE DE DOCUMENT	Article scientifique
SOURCE	Journal « The Foot », volume 34
DATE DE PARUTION	2018
NOMBRE DE PAGES (n° de pages)	5 pages (p.1-5)
PLAN DE L'ARTICLE	I. Introduction II. Matériel et méthode a) Sujets b) Instruments c) Electrical stimulation of the PIFMs d) Data collection protocol e) Statistical analysis III. Résultats IV. Discussion Conclusion
ELEMENTS DE L'ARTICLE EN LIEN AVEC LA PROBLEMATIQUE : «	Mots-clés : plantar intrinsic foot muscle, gait, electrical stimulation, 3D motion analysis, plantar fasciitis Eléments détaillés en lien avec le sujet : I. Introduction Objectif : évaluer les effets du renforcement des IFM via NMES sur la dynamique du pied pendant la marche et confirmer le rôle fonctionnel des IFM pendant la marche. II. Matériel et Méthode a) Sujets 20 hommes sains. Critères d'exclusion : -Antécédents de blessure au membre inférieur dans les 6 mois avant la participation et pronation excessive du pied (déterminée par le navicular drop test → drop supérieur à 10mm) -Sujets avec des crises d'épilepsie ou des pacemakers (relatif à l'utilisation d'électrostimulation) Randomisation puis allocation dans le groupe d'intervention : ES group ou le groupe contrôle : C group (10 par groupe) b) Instruments WalkAid device : électrostimulation. Cinématique du pied évalué par VICON system. c) Electrical stimulation to the PIFMs 250 micro secondes de pulse, 20Hz fréquence. Electrodes au niveau du ventre de l'abducteur de l'hallux. Muscle ciblé comme étant le plus important en termes de volume ; le renforcement n'est pas spécifique à l'Abd H et touchent les autres IFM. Le timing de l'électrostimulation est contrôlé à la main par le même testeur et pendant le milieu de la phase d'appui jusqu'à la phase de pré-oscillation (temps normal d'activation des IFM pendant la marche). Intensité gérée par le patient selon le seuil supporté sans ressentir de la douleur. d) Data collection protocole 16 marqueurs ont été placés selon le Plug-in-Gait lower model et les spécifications du Oxford Foot Model. Calibration en position neutre. Calcul de la hauteur de l'arche médiale longitudinale grâce aux marqueurs ; la hauteur de la MLA est représentée pendant la marche par la hauteur de l'os naviculaire. Les tests statiques et dynamiques ont été fait ; debout statique puis 8m de marche à la vitesse qu'ils souhaitent. - Debout essai statique : 90% du poids du corps sur un pied, peuvent se retenir avec l'autre pied ou la main, enregistrement sur 10 secondes. ESG : électrostimulation les 5 dernières secondes. - Marche : électrostimulation de la phase de milieu d'appui jusqu'en phase de pré-oscillation lorsque les IFM sont actifs Testeur en aveugle.

	e) Analyse statistique - Gait → sont analysés sur le pied droit : la vitesse de marche, durée de la phase d'appui, hauteur minimale de l'os naviculaire, moment où l'os naviculaire atteint la hauteur minimale, angle de l'avant-pied et de l'arrière pied, et angle de l'arrière pied avec le tibia à ce moment-là, position de la cheville à ce moment-là, force de réaction au sol maximale (dans les directions antérieure, médiale et verticale) pendant la deuxième moitié de la phase d'appui. Moyenne faite sur 5 essais. Position statique debout → analyse de la hauteur de l'os naviculaire depuis le sol (et pas le plan du pied) Independant sample t-tests utilisés. $p < 0,05$ III. Résultats Pas de différence significative entre les valeurs de bases (pré intervention) entre les deux groupes. Le moment où l'os naviculaire atteint sa hauteur minimale est équivalent à la fin de la phase d'appui dans les deux groupes. Le moment/temps où le naviculaire atteint sa hauteur minimum arrive de manière significative plus tard dans le groupe d'intervention par rapport au groupe contrôle ($p=0,02$). De plus à ce moment il y a une réduction significative de l'abduction de l'angle de l'avant pied par rapport à l'arrière pied (plan transversal) dans le groupe ES mais pas dans les autres plans ($p=0,0002$). Il y a une diminution significative de la force de réaction maximale du sol dans le plan vertical dans le groupe avec ES ($p=0,03$). Dans l'analyse de la position statique il y a une augmentation significative de la hauteur du naviculaire par rapport au sol dans le groupe d'intervention ($p=0,04$). IV. Discussion Cette étude montre que le renforcement des IFM cause un délai de réponse dans la phase d'appui, au moment où la hauteur du naviculaire atteint sa valeur minimale. Pendant la seconde moitié de la phase d'appui, la force de réaction maximale verticale au sol était significativement diminuée dans le groupe d'intervention. Ces résultats montrent la fonction d'absorbeurs de chocs des IFM pendant la fin de la phase d'appui. Cette fonction pourrait contribuer à la réduction du stress sur le fascia plantaire (puisque le stress appliqué atteint sa valeur maximale à la fin de la phase d'appui aussi). Cela va dans le sens des autres études qui montrent une diminution du volume des IFM chez les patients avec une fasciite plantaire ou des pieds plats. Ainsi, l'hypofonction des IFM en tant que « shock absorber » pourrait être un facteur étiologique de la fasciite plantaire et entraîner ces muscles pourrait améliorer non seulement la statique du pied mais aussi retrouver cette fonction. De plus, les IFM pourrait faciliter la transmission des forces du sol au pied puisque la force de réaction au sol verticale a diminuée sans changement de la vitesse de marche ou de progression de la force. <u>Limites</u> : Il n'est pas possible de confirmer quelle force a été ajoutée à la force contractile des IFM pendant la marche. Il est possible qu'il y ait des activations complémentaires aux IFM. Pas forcément une méthode de renforcement physiologique ; il faudrait dans d'autres études proposer un programme de renforcement. Limites dans l'évaluation de la marche. Il faudrait évaluer l'activité des IFM pendant la course. Pour conclure, le renforcement des IFM par NMES a tendance à changer la cinématique du pied pendant la marche avec une amélioration de la capacité d'absorption des chocs et la capacité de transmission de la force de réaction au sol. Cela suggère que les IFM ont un rôle en tant qu'absorbeurs de chocs (ou amortisseurs) et propulseurs pendant la marche et que la faiblesse de ces muscles pourrait être reliée à la fasciite plantaire.
COMMENTAIRE OU QUESTIONNEMENT SECONDAIRE	Essai contrôlé randomisé, grade B Score PEDro : 7/11 -Faible échantillon, population de personne avec des pied plats : population spécifique -Biais d'évaluation : patient non aveugle, testeur en aveugle

Fiche de lecture 5

AUTEUR	Ebrecht F., Sichtung F.
TITRE	<i>En Does neuromuscular electrostimulation have the potential to increase intrinsic foot muscle strength ?</i>
TYPE DE DOCUMENT	Article scientifique
SOURCE	Journal « The Foot », volume 35
DATE DE PARUTION	2018
NOMBRE DE PAGES (n° de pages)	7 pages (p.56-62)
PLAN DE L'ARTICLE	I. Introduction II. Matériel et méthodes a) Participants b) Cross-sectional area acquisition, processing and evaluation c) Arch stability acquisition, processing and evaluation d) Fatigue acquisition, processing and evaluation e) NMES and running intervention f) Statistical analysis III. Résultats a) Cross sectional area b) Arch stability c) Muscle fatigue IV. Discussion a) Cross sectional area indicates that NMES had no effect on IFM-strength b) The sit-to-stand double-leg navicular drop test may not represent intrinsic foot muscle strength V. Conclusion VI. Brief summary VII. Conflict of interest VIII. Funding IX. Acknowledgement
ELEMENTS DE L'ARTICLE EN LIEN AVEC LA PROBLEMATIQUE	Mots-clés : intrinsic foot muscles, neuromuscular electrostimulation, minimal shoes, ultrasound, static navicular drop Eléments détaillés en lien avec le sujet : I. Introduction Objectif : investiguer les effets du renforcement d'une intervention via l'électrostimulation sur les muscles intrinsèques du pied. 3 caractéristiques de la force musculaire investiguées : cross-sectional area, longitudinal arch stability, muscle fatigue. 3 hypothèses testées : 8 semaines d'intervention NMES sur l'abducteur de l'hallux : -Augmente la surface de section transversale -Améliore la stabilité de l'arche -Réduit la fatigue musculaire II. Matériel et méthodes a) Participants Critères inclusion/exclusion : sains et sans patho altérant les caractéristiques de la marche/déambulation. 74 participants ont été inclus. Randomisation et assignés dans 3 groupes : -Groupe 1 : NMES, n=19 -Groupe 2 : groupe contrôle, n=15 -Groupe 3 : groupe actif suivant un protocole de running avec des chaussures minimalistes, n=40 (nombre important calculé selon les résultats attendus). Les participants de ce groupe n'avaient pas d'expérience de course pieds-nus ou en chaussure minimaliste. <u>Pour tous les participants :</u> mesure de la cross sectional area et navicular drop test b) Cross-sectional area acquisition, processing and evaluation Réalisée avant et après l'intervention via des ultrasons. Les différences entre les enregistrements sont choisies comme critères d'évaluation de la morphologie musculaire. L'abducteur de l'hallux est choisi comme étant le muscle le plus proéminent. c) Arch stability acquisition, processing and evaluation

Sit-to-stand double-leg navicular drop test utilisé pour évaluer la stabilité de l'arche longitudinale. Deux mesures sont faites (assis-debout) et la différence entre les deux est le static navicular drop (sND). Réalisé avant et après l'intervention (semaine 0 et semaine 8).

d) Fatigue acquisition, processing and evaluation

Pour tester la fatigue des IFM, mesure du sND avant et après une course pieds nus sur un tapis pendant 20 minutes à 1° d'inclinaison pour provoquer un appui avant-pied. Monitoring pour la fréquence cardiaque ; 5 minutes de course à leur rythme puis augmentation de la vitesse pour obtenir une fréquence cardiaque entre 140 et 160 bpm. Comptage du nombre de pas par minutes. Métrologue utilisé pour garder la même fréquence lors de la mesure 8 semaines après.

e) NMES and running intervention

Les 2 groupes ont suivi un protocole différent avec 2 sessions par semaines pendant 8 semaines.

- NMES : stimulateur portable ; temps de contraction : 4 secondes, repos : 8 secondes, durée : 15 minutes, contractions : 75. 2 électrodes placées aux insertions du muscle abducteur de l'hallux. Les patients règlent leur intensité en fonction de ce qu'ils peuvent supporter et sans douleur. Le niveau d'intensité a été augmenté au fur et à mesure des 8 semaines.
- Running group : divisé en 2 sous groupes ; un sous-groupe de débutants et un sous-groupe de coureurs avancés en fonction de leur vitesse de course (débutant <10km/h et avancé ≥10km/h). Les groupes diffèrent par la charge de travail (min/semaine). Ils ont suivis un programme avec une augmentation graduée de la charge afin de contrôler la période de transition et d'éviter les blessures associées au port de chaussures minimalistes. Débutants : 10min/session au début et avancés : 15min/session. Les sessions sont pratiquées dehors, les chaussures présentant un indice minimaliste de 88%.

f) Statistical analysis

Différentes analyses entre les 3 types de mesures pré et post intervention. Méthode d'analyse sélectionnée en fonction des paramètres. Alpha = 0,05.

III. Résultats

59 participants ont participé à l'étude jusqu'au bout (79,7%) : groupe NMES : 15, groupe running : 32, groupe contrôle : 12. 15 participants n'ont pas fini par manque de temps (n=7) ou parce qu'ils présentaient des symptômes de surcharge dans le groupe de course (n=8).

a) Cross sectional area

Brown-Forsythe test pour l'analyse de la variance. Il apparaît qu'il n'y a pas de différence significative entre les 3 groupes (p=0,203).

b) Arch stability

Brown-Forsythe test pour l'analyse de la variance. Il n'y a pas de différence significative entre les 3 groupes (p=0,073). On note toutefois quelques différences entre le static Navicular Drop avant et après l'intervention (non significatives).

	Avant intervention	Après intervention
NMES group	3,59 +/- 1, 18mm	3,51 +/- 1, 48mm
Running group	4,12 +/- 1, 60mm	3,89 +/- 1, 69mm
Control group	4,08 +/- 1, 52mm	4,90 +/- 1, 47mm

c) Muscle fatigue

Kruskal-Wallis test a été utilisé pour l'analyse de la variance. Il n'y a pas de différence significative entre les 3 groupes (p=0,892).

IV. Discussion

Il apparaît qu'il n'y a pas de preuve des effets du renforcement de la musculature intrinsèque via l'électrostimulation. 2 questions se posent :

- Les 8 semaines d'intervention NMES sont-elles trop courtes ou l'application inappropriée ?
- Les paramètres choisis (CSA et sND) représentent-ils la force musculaire ?

a) Cross sectional area indicates that NMES had no effect on IFM-strength

Pas de différence significative entre les groupes : peut-être dû à la petite taille de l'échantillon : 23 participants. Ce qui laisse à penser cela sont les études sur les chaussures minimalistes qui ont été faites et qui ont montré des différences significatives.

NMES : intervention montrant peu d'effets, peut-être parce que le nombre de séances par semaine était insuffisant ou parce que la charge n'était pas assez importante. D'autres études

	ont montré une augmentation du CSA après 3 à 4 séances par semaine et d'autres après avoir appliqué l'électrostimulation en position debout (charge supplémentaire). L'essai est potentiellement biaisé car réalisé sur des personnes saines, le résultat aurait pu être significatif sur des personnes n'ayant aucune activité. NMES paraît efficace dans les situations où la personne ne peut s'entraîner mais paraît moins efficace que les exercices volontaires. Les effets sur le CSA sont trop faibles pour être détectés dans cette étude dans un groupe de personnes ayant des activités. b) The sit-to-stand double-leg navicular drop test may not represent intrinsic foot muscle strength Il est possible qu'il y ait une amélioration de la coordination intramusculaire. L'article se base sur le fait que l'arche longitudinale a une stabilité garantie par les structures osseuses et les muscles extrinsèques et intrinsèques, donc le renforcement des muscles intrinsèques améliorerait le score statique au Navicular Drop Test. De plus, le ND serait sensible à la fatigue musculaire ; l'augmentation du score confirmerait cette supposition. Deux possibilités : soit le rôle fonctionnel des IFM dans la stabilisation de l'arche longitudinale est remis en question, soit le ND n'est pas représentatif de la force des IFM. L'augmentation du ND serait due aux structures passives après « fatigue ». V. Conclusion Pas de preuves sûres. Challenge de mesurer la force des IFM. Prochaine étude devrait inclure plus de personnes inactives. Le ND n'est pas assez sensible pour représenter la force musculaire.
COMMENTAIRE OU QUESTIONNEMENT SECONDAIRE	Essai contrôlé randomisé grade B Score PEDro : 5/11 -Peu de critères d'exclusion A interpréter avec précaution. Donne des pistes à investiguer. -Biais d'attrition : pas d'analyse en ITT, per protocol -Population jeune et saine non représentative de la population générale -Biais de suivi : les groupes ne sont pas comparables en nombre, pas de double insu

Fiche de lecture 6

AUTEUR	Fourchet F., Kilgallon M., Loepelt H., Millet G-P.
TITRE	<i>Electrostimulation des muscles plantaires et chute de l'os naviculaire</i>
TYPE DE DOCUMENT	Article scientifique
SOURCE	Science & Sports, volume 24
DATE DE PARUTION	2009
NOMBRE DE PAGES (n° de pages)	3 pages (p.262-264)
PLAN DE L'ARTICLE	I. Introduction II. Matériel et méthode a) Participants b) Protocole c) Le test de la chute du naviculaire d) Blessures III. Résultats IV. Discussion V. Conflits d'intérêt
ELEMENTS DE L'ARTICLE EN LIEN AVEC LA PROBLEMATIQUE	Mots-clés : renforcement musculaire, prévention, arche médiale, pronation, pied Eléments détaillés en lien avec le sujet : I. Introduction Objectif : tester les effets de l'électrostimulation pour soutenir l'arche médiale du pied II. Matériel et méthode a) Participants 16 athlètes du centre national d'entraînement du Qatar Groupe contrôle : 8 sujets ont eu un entraînement normal d'athlétisme avec 9 séances par semaines Groupe d'intervention : 8 sujets ont eu un entraînement normal mais ont suivi en plus le programme d'électrostimulation pendant les 3 premières semaines Dans chaque groupe : 5 sujets avec pieds normaux et 5 avec pieds plats et flexibles b) Protocole 3 séances de 15 minutes d'électrostimulation par semaines avec un compex II, simultanément dans les deux pieds. c) Le test de la chute du naviculaire Navicular drop test – fait par le même examinateur. Mesuré avant le protocole, immédiatement après (3 semaines) puis 3 semaines encore après. d) Blessures Enregistrement des blessures sur un logiciel III. Résultats Il y a une diminution significative de la chute naviculaire entre le pré et le post-test du groupe d'intervention ($p<0,01$), mais pas entre le pré et post test pour le groupe contrôle. De même, entre le pré test et le post test 2 (6 semaines) l'effet est maintenu ($p<0,01$). Entre le post test (3 semaines) et le post test 2 (6 semaines) l'effet de l'électrostimulation reste plus faible pour le groupe d'intervention ($p<0,05$). Avant l'étude 6 blessures avaient été recensées dans le groupe d'intervention dans les 9 mois avant ; après l'étude aucune blessure n'a été recensée dans les 9 mois qui suivent. Le nombre est resté constant dans le groupe contrôle pour la même période. IV. Discussion Une courte période de renforcement des muscles intrinsèques est à l'origine d'une diminution significative de la chute de l'os naviculaire à court et moyen termes. Intérêt potentiel pour la prévention des blessures liées à l'hyper-pronation. Pas de blessures enregistrées dans les 9 mois qui suivent l'intervention, alors que des pathologies sont apparues dans le groupe contrôle. V. Conflits d'intérêt Aucun

COMMENTAIRE OU QUESTIONNEMENT SECONDAIRE	Type étude : essai contrôlé non randomisé ; grade C. Il aurait mieux valu un essai contrôlé randomisé. -Biais de sélection : pas de randomisation -Pas de critères d'inclusion ou d'exclusion mentionnés, pas de double-insu, faible échantillon ; validité interne de l'étude menacée ainsi que la validité externe (non représentatif de la population générale) -Biais de mesure : biais d'évaluation. Potentielle existence de facteur de confusion. Les biais ne sont pas contrôlés donc il faut interpréter les résultats avec prudence. -Pas de détails sur les analyses statistiques effectuées (p-value, seuil de significativité, tests effectués). L'étude peut servir de guide d'investigation mais ne permet pas de répondre avec certitude à la problématique.
--	---

Fiche de lecture 7

AUTEUR	Hashimoto T., Sakuraba K.
TITRE	<i>Strength training for the intrinsic flexor muscles of the foot : effects on muscle strength, the foot arch, and dynamic parameters before and after the training</i>
TYPE DE DOCUMENT	Article scientifique
SOURCE	Journal of Physical Therapy Science, volume 26
DATE DE PARUTION	2014
NOMBRE DE PAGES (n° de pages)	4 pages (p.373-376)
PLAN DE L'ARTICLE	Introduction Sujets et méthode Résultats Discussion
ELEMENTS DE L'ARTICLE EN LIEN AVEC LA PROBLEMATIQUE	Mots-clés : intrinsic flexor muscles of the foot, muscle training, muscle strength Éléments détaillés en lien avec le sujet : I. Introduction Objectif : étudier les muscles intrinsèques du pied (fléchisseurs) uniquement, et vérifier les effets d'une méthode de renforcement avec des répétitions fixes et des charges, sur la force musculaire, la forme de l'arche plantaire, dynamique fonctionnelle. II. Sujets et méthode Sujets : 12 hommes sains. <u>Critères d'exclusion</u> : maladie du système moteur ou antécédent d'un problème au pied comme le pied plat. Moyenne d'âge : 29 +/-5 ans. Evaluation de la force musculaire via un dynamomètre. Mesure de la force de chaque orteil par une griffe résultant de la flexion des articulations inter-phalangiennes et métatarso-phalangiennes. Pour la mesure de l'arche plantaire, les longueurs de l'arche longitudinale et horizontale ont été relevées pour les deux pieds pour créer une empreinte de Berkemann (position statique debout). Test dynamique : -1-legged long jumping -vertical jumping -50-m dash time Pendant 8 semaines : 200 répétitions de flexion de l'IPP et de la MP simultanément à droite et à gauche, 1x/jour, 3x/semaines avec une charge de 3kg. <u>Critères de jugement</u> : -Force musculaire -Forme/posture de l'arche plantaire -Dynamique fonctionnelle : 1-legged jumping, vertical jumping, 50-m dash time p-value <0,05. Wilcoxon signed-rank test. Analyse stat : SPSS Japan III. Résultats Il y a une augmentation significative de la force musculaire à droite et à gauche (p<0,01). De plus il y a une diminution significative de la longueur de l'arche longitudinale (p<0,01) et de l'arche transversale (p<0,01) entre le pré et le post test. Enfin, la distance du 1-legged long jumping et la hauteur du vertical jumping (<0,05) ont significativement augmenté, tandis que le 50-m dash time a significativement diminué (p<0,01) après l'entraînement comparé à ceux avant l'entraînement. IV. Discussion Exclusion des muscles extrinsèques (shuntés par la position de flexion du pied lors de l'évaluation). Création d'un appareil pour mesurer la force des muscles intrinsèques car aucun autre n'existe dans le commerce. L'appareil a été testé et considéré comme fiable. Des différences statistiques ont été relevées entre les mesures pré et post test ; augmentation de la force des intrinsèques fléchisseurs, diminution des arches

	longitudinales et horizontales, amélioration des distances « 1 legged long jumping », amélioration des hauteurs « vertical jumping » et diminution du temps du 50-m dash. Il est supposé que l'amélioration de la force des fléchisseurs intrinsèques soit sous l'influence d'éléments neurologiques. Les résultats laissent supposer que la fonction de maintien de l'arche est améliorée avec l'augmentation de la force des fléchisseurs intrinsèques. La performance des tests dynamiques est améliorée ; augmentation de la distance pour le 1-legged long jump, amélioration de la hauteur pour le vertical jump, diminution du temps pour le 50-m dash. Ces résultats suggèrent qu'il est possible d'améliorer la solidité du pied en renforçant les muscles et en reformant la voûte plantaire. Permettrait l'amélioration de la force propulsive et de la puissance du saut et donc de la performance.
COMMENTAIRE OU QUESTIONNEMENT SECONDAIRE	Type étude : interventionnelle pré-test/post-test, grade C. -Biais de suivi (pas de groupe contrôle) -Biais de sélection (pas de randomisation) -Pas de double-insu et faible échantillon. Validité interne et externe menacées. Piste de réflexion mais étude à considérer avec précaution. -Population d'hommes jeunes et sains ; non représentatif de la population générale

Fiche de lecture 8

AUTEUR	Kim, Eun-Kyung; Kim, Jin Seop
TITRE	<i>The effects of short foot exercises and arch support insoles on improvement in the medial longitudinal arch and dynamic balance of flexible flatfoot patients</i>
TYPE DE DOCUMENT	Article scientifique
SOURCE	The Journal of Physical Therapy Science, volume 28
DATE DE PARUTION	2016
NOMBRE DE PAGES (n° de pages)	4 pages (p.3136-3139)
PLAN DE L'ARTICLE	Introduction Sujets et méthode Résultats Discussion
ELEMENTS DE L'ARTICLE EN LIEN AVEC LA PROBLEMATIQUE	Mots-clés : short foot exercise, arch support insoles, flatfoot Éléments détaillés en lien avec le sujet : Introduction Objectif : travailler sur la MLA des personnes avec des pieds plats flexibles et évaluer les effets sur l'équilibre dynamique pour identifier des méthodes d'application efficaces. Sujets et méthode 14 étudiants : 10 hommes, 4 femmes. Randomisation et allocation dans deux groupes de 7 personnes : un groupe d'intervention effectuant le Short-foot-exercise, un autre groupe « contrôle » avec une semelle de soutien de l'arche (arch support insole – ASI). <u>Critères de sélection</u> : sélection des sujets avec pied plat (observation d'un shoot dans un ballon pour voir le pied dominant). Navicular drop test effectué pour sélectionner les sujets avec pieds plats flexibles (10 cm ou plus de différence de hauteur du naviculaire). <u>Critères d'exclusion</u> : - Hypo-esthésie du pied - Fracture - Dislocation - Maladie de peau - Maladie vasculaire Pied dominant pour tous les sujets : pied droit SFE employé comme entraînement sensori-moteur pour améliorer le pied plat dans le groupe expérimental. Avant l'entraînement les exercices ont été montrés aux sujets. Ensuite les sujets se sont assis et une serviette a été placée sous leurs pieds ; il leur a été demandé d'amener la première articulation métatarso-phalangienne vers le talon sans enrouler les orteils et maintenir la position 20 secondes pour former la MLA. Le testeur a tenu le coup de pied et le talon pour éviter le décollement du pied et la flexion de la MP. La posture a été tenue 10 secondes ensuite suivie de 5 secondes et cet exercice a été réalisé 30 minutes par session, 3 fois par semaine pendant 5 semaines. Pour le groupe « contrôle » des semelles de support de l'arche plantaire ont été conçues avec du matériel thermoplastique. L'arche médiale longitudinale a ensuite été faite avec une côte d'une valeur de 20° et une hauteur de 15mm. Il a été demandé à ce groupe de mettre la semelle dans leur chaussures de course et de marcher sur des sols plats pendant 30 minutes par session, 3 fois par semaine pendant 5 semaines. <u>Critères de jugement</u> : - Hauteur naviculaire (Navicular drop test) - Performance (Y balance test) Indépendant t-test. Alpha=0,05 Résultats NDT : diminution significative des valeurs après intervention du SFE group par rapport au ASI group (p<0,05) YBT : diminution significative des valeurs du SFE group après intervention comparé au ASI group (p<0,05)

	NDT : diminution significative au sein du SFE groupe entre avant et après l'intervention ; l'ASI ne montre aucune différence significative. YBT : les deux groupes ont montré une augmentation significative ($p < 0,05$) Discussion Les résultats indiquent que le SFE est efficace et permettrait de diminuer la chute naviculaire. Les changements dans le groupe ASI ne sont pas significatifs. Dans cette étude les deux groupes montrent une amélioration significative de l'équilibre dynamique après intervention.
COMMENTAIRE OU QUESTIONNEMENT SECONDAIRE	Etude interventionnelle avant/après, grade C. Essai Non contrôlé randomisé. Biais de confusion : le « groupe contrôle » n'est pas vraiment contrôle puisqu'il y a une intervention (port de semelle de support de l'arche) Biais d'évaluation : sélection des patients suite à un shoot dans le ballon, pas de double aveugle L'hypothèse n'est pas clairement énoncée Faible échantillon : peu représentatif ; population avec des pieds plats, non représentative de la population générale Validité interne et externe menacées

Fiche de lecture 9

AUTEUR	Okamura, K; Kanai, S; Fukuda, K; Tanaka, S; Ono, T; Oki, S
TITRE	<i>The effect of additional activation of the plantar intrinsic foot muscles on foot kinematics in flat-footed subjects</i>
TYPE DE DOCUMENT	Article scientifique
SOURCE	Journal « The Foot », volume 38
DATE DE PARUTION	2018
NOMBRE DE PAGES (n° de pages)	5 pages (p.19-23)
PLAN DE L'ARTICLE	V. Introduction VI. Matériel et méthode f) Sujets g) Instruments h) Electrical stimulation of the PIFMs i) Data collection protocol j) Statistical analysis VII. Résultats VIII. Discussion IX. Conclusion
ELEMENTS DE L'ARTICLE EN LIEN AVEC LA PROBLEMATIQUE	Mots-clés : flat-foot alignment, foot kinematics, plantar intrinsic foot muscle, medial longitudinal arch Eléments détaillés en lien avec le sujet : I. Introduction Objectif : Examiner les effets du renforcement des IFM via l'électrostimulation sur la cinématique du pied pendant la station debout ou la marche et de confirmer si la capacité des IFM de supporter l'arche médiale longitudinale est suffisante pour changer la cinématique du pied chez les sujets avec pied-plats. Hypothèse : chez les sujets avec pieds plats le renforcement stimulé des IFM pourrait être à l'origine de changement dans la cinématique du pied lors de la position debout ou pendant la marche, associé à une amélioration de la capacité à supporter la MLA. II. Matériel et méthode a) Sujets 169 participants ont été volontaires et examinés pour identifier des défauts de posture de pied comme le pied-plat. Pour cela le Navicular Drop test et le Foot Posture Index ont été utilisés pour sélectionner les sujets avec pieds-plats. Critère d'exclusion : -Antécédents de blessure au membre inférieur dans les 6 mois avant la participation -Sujets avec des crises d'épilepsie ou des pacemakers (relatif à l'utilisation d'électrostimulation) → 18 sujets ont répondu à tous les critères d'inclusion. Randomisation dans 2 groupes : groupe électrostimulation (ESG) et groupe contrôle (CG) b) Instruments WalkAid device : électrostimulation. Cinématique du pied évalué par VICON system. c) Electrical stimulation of the PIFMs Electrostimulation délivrée selon une étude précédente d'Okamura : The effects of additional activation of the plantar intrinsic foot muscles in foot dynamics during gait (2018). Electrodes au niveau du ventre de l'abducteur de l'hallux. Intensité gérée par le patient selon le seuil supporté sans ressentir de la douleur. d) Data collection protocol 29 marqueurs ont été placés selon le Plug-in-Gait lower model et les spécifications du Oxford Foot Model. Calibration en position neutre. Calcul de la hauteur de l'arche médiale longitudinale grâce aux marqueurs ; la hauteur de la MLA est représentée pendant la marche par la hauteur de l'os naviculaire. Les tests statiques et dynamiques ont été fait ; debout statique puis 8m de marche. - Debout : 90% du poids du corps sur un pied, peuvent se retenir avec l'autre pied ou la main, enregistrement sur 10 secondes. ESG : électrostimulation les 5 dernières secondes. - Marche : électrostimulation de la phase de milieu d'appui jusqu'en phase de pré-oscillation lorsque les IFM sont actifs

	Testeur en aveugle. e) Statistical analysis - Gait → sont analysés sur le pied droit : la vitesse de marche, durée de la phase d'appui, hauteur minimale de l'os naviculaire, moment où l'os naviculaire atteint la hauteur minimale, angle de l'avant-pied et de l'arrière pied, et angle de l'arrière pied avec le tibia à ce moment-là, position de la cheville à ce moment-là, force de réaction au sol maximale (dans les directions antérieure, médiale et verticale) pendant la deuxième moitié de la phase d'appui. Moyenne faite sur 5 essais. - Position statique debout → analyse de la hauteur de l'os naviculaire Donc <u>critères de jugement</u> : caractéristiques de la marche et hauteur naviculaire Indépendant sample t-tests ou Mann-Whitney U test utilisés. $p < 0,05$ III. Résultats Dans les essais avant intervention il n'y avait pas de différence significative dans les valeurs comparées entre le groupe ES et le groupe contrôle. Dans les deux groupes le moment où l'os naviculaire à sa hauteur minimale est équivalent à la phase d'appui terminale. Après l'intervention : - Analyse de la marche : pas de différence significative de la vitesse de marche ou de la hauteur du naviculaire, mais différence significative de la durée de la phase d'appui du groupe avec électrostimulation ($p=0,01$). De plus, le moment où l'os naviculaire atteint sa valeur minimale intervient de manière significative plus tard dans le groupe ES que dans le groupe contrôle ($p=0,03$). A ce même moment il y a une réduction significative de l'angle d'éversion (dans le plan frontal) correspondant à l'angle relatif à l'arrière pied ($p=0,02$), et une diminution significative de l'abduction de l'arrière pied relative au tibia (plan transversal) dans le groupe ES ($p=0,01$). Pas d'autres changements significatifs dans les autres paramètres cinétiques. - Position debout statique : pas de différence significative de la hauteur de l'os naviculaire ($p=0,90$) IV. Discussion Cette étude montre que le renforcement des IFM cause un délai de réponse dans la phase d'appui, au moment où la hauteur du naviculaire atteint sa valeur minimale, sans aucune réduction de la hauteur du naviculaire à ce moment. Il apparaît que les IFM ont la capacité de ralentir la déformation de la MLA pendant la phase d'appui de la marche. De plus, des changements de la hauteur sont observés via : augmentation significative de l'angle d'inversion de l'avant pied chez le groupe ES ainsi qu'une augmentation significative de l'angle d'adduction de l'arrière pied par rapport au tibia (identique à la rotation externe du tibia). Ces mouvements sont dus à la contraction de l'abducteur de l'hallux et s'accompagnent d'une augmentation de la hauteur de l'arche. Les résultats suggèrent que les IFM ont la capacité suffisante de supporter la MLA et de changer la cinématique de marche chez les patients avec des pieds plats. Ces résultats sont intéressants pour les cliniciens qui travaillent avec des pathologies micro-traumatiques liées aux pieds plats. L'atrophie et l'hypo-fonction des IFM plantaires semblent être un facteur étiologique de pathologies micro traumatiques chez les personnes avec des pieds plats. La tension du fascia plantaire pendant la marche est fortement corrélée avec l'alignement du pied pendant la marche ; renforcer les IFM afin qu'ils supportent dynamiquement la MLA pourrait contribuer à la réduction du stress du fascia plantaire et pourrait être utile pour traiter ou prévenir la fasciite plantaire. <u>Limites</u> : Navicular drop test et 6-item foot posture index utilisés ; toutefois la validité et la fiabilité de ces mesures sont inférieures par rapport à un examen radiologique invasif. De plus, l'échantillon est assez petit, il est donc difficile de détecter une différence significative. Nécessité d'effectuer d'autres études mieux menées pour évaluer la capacité de soutien des IFM de la MLA. V. Conclusion Le renforcement des IFM par électrostimulation change la cinématique de marche ainsi que la capacité à supporter la MLA. Cela suppose que chez les patients avec pied plat les IFM sont capables de supporter la MLA suffisamment pour changer la cinématique de marche ; renforcer ces muscles permettrait de prévenir ou traiter les micro-pathologies liées aux pied plats.
COMMENTAIRE OU QUESTIONNEMENT SECONDAIRE	Essai contrôlé randomisé, grade B Score PEDro : 7/11 Biais d'évaluation : simple-aveugle (mais compliqué en kiné d'être en double aveugle)

Fiche de lecture 10

AUTEUR	Jung, Do-Young; Kim, Moon-Hwan; Koh, Eun-Kyung; Kwon, Oh-Yun; Cynn, Heon-Seock; Lee, Won-Hwee
TITRE	<i>A comparison in the muscle activity of the abductor hallucis and the medial longitudinal arch angle during toe curl and short foot exercises</i>
TYPE DE DOCUMENT	Article scientifique
SOURCE	Physical Therapy in Sport, volume 12
DATE DE PARUTION	2011
NOMBRE DE PAGES (n° de pages)	6 pages (p.30-35)
PLAN DE L'ARTICLE	I. Introduction II. Méthode a) Sujets b) Instrumentation c) Procédures d) Data collection and processing e) Data analysis and statistics III. Résultats IV. Discussion V. Conclusion VI. Ethical approval VII. Conflict of interest VIII. Acknowledgment
ELEMENTS DE L'ARTICLE EN LIEN AVEC LA PROBLEMATIQUE	Mots-clés : abductor hallucis, medial longitudinal arch, short foot exercise, toe curl exercise Eléments détaillés en lien avec le sujet : I. Introduction Objectif : comparer l'activité musculaire de l'abducteur de l'hallux et l'angle de l'arche médiale longitudinale pendant le toe-curl exercise (TCE) ou le short-foot exercise (SFE) en position assise ou debout. Hypothèse : 1) une différence entre l'activité musculaire de l'abd H et l'angle de la MLA sera observable entre le SFE et le TCE 2) une différence entre l'activité musculaire du AbdH et l'angle de la MLA sera observable entre la position assise et debout sur une jambe entre les deux exercices. II. Méthode a) Sujets 20 sujets avec un pied dans un alignement neutre ont participé. L'alignement neutre du pied a été déterminé par la mesure du RCSP : resting calcaneal stance position et le score au Navicular Drop test. <u>Critères d'exclusion :</u> -antécédent ou présence d'arthrite inflammatoire -chirurgie du pied ou de la cheville -diabète -amputation d'un membre inférieur -déformations du pied de type hallux valgus, doigt de pied en marteau ou en griffes Alpha = 0,05 b) Instrumentation Appareil pour collecter informations ; électromyogramme pour la force musculaire de l'abd h. Enregistrement vidéo pour mesurer l'angle de la MLA pendant les exercices (Toe Curl Exercise et Short Foot Exercise). c) Procédures Positionnement des électrodes à environ 1-2cm en arrière de la tubérosité du naviculaire. Confirmation de la position du muscle par image ultrason. Pour mesurer la MLA, le pied a été placé dans une position neutre et des marqueurs ont été attachés selon 3 points : tubérosité naviculaire, face médiale de la tête du 1^{er} méta, côté médial de l'os calcanéal. La caméra a été placée à 2 m vers la face médiale du pied. <u>Randomisation</u> pour la sélection des pieds (droit ou gauche), du type d'exercice (TC ou SF) et de la position d'exercice (assis ou debout sur une jambe). Position assise : hanche, genou, cheville à 90°, pied opposé en arrière.

	Position debout : pied placé à l'aplomb des épaules, genou légèrement fléchi et possibilité de poser l'index contre le mur pour assurer l'équilibre pendant les exercices. • Short-foot exercise : raccourcissement du pied dans un axe antéro-postérieur en essayant d'amener la tête du méta vers le talon sans flexion de l'orteil. • Toe-curl exercise : une serviette a été placée sous le pied testé, le sujet doit enrouler ses orteils et plier la serviette sous les IPP et MP en réalisant une flexion des orteils. Il a été demandé au sujet de faire les exercices à effort maximal. Le principal investigateur a montré les exercices aux patients qui les ont ensuite réalisés en position assise puis debout sur les deux jambes et debout sur une jambe. Confirmation de la réalisation de l'exercice ; enregistrement du navicular drop sur 10 secondes pour le SFE et contrôle des plis sous les orteils sans mouvement du talon pour le TCE assis et debout. 2 semaines d'exercices sous la supervision d'un investigateur, 15 minutes par jour. 3 séries de 5 secondes de tenu de chaque exercice ont été effectuées pour mesurer l'activité de l'abdH et l'angle MLA ; 10 minutes de repos ont été allouées pour minimiser les effets du testing et de la fatigue entre les différentes positions. d) Data collection and processing MVIC : maximum voluntary isometric contraction de l'abd H mesurée par EMG dans une position de testing manuel. Video motion analysis pour mesurer l'angle MLA e) Data analysis and statistics ANOVA utilisé pour la significativité de l'EMG de l'abd h et l'angle MLA. 2 facteurs : type d'exercice (TC ou SF) et position d'exercice (assis/debout 1 pied). Post hoc paired t-test (mesures appariées) Alpha = 0,01 III. Résultats Interactions significatives entre les types d'exercices et la position d'exercice observées pour l'activité musculaire de l'abd H et l'angle MLA. Test de mesures appariées : → L'activité musculaire (EMG) de l'abd h est significativement plus grande pour le SFE que pour le TCE en position assise et debout sur une jambe $p < 0,001$ → Il n'y a pas de différence significative entre l'activité musculaire de l'abd h pour le TCE entre la position assise et la position debout sur une jambe $p = 0,016$ → Il y a une augmentation significative entre l'activité musculaire de l'abd h pour le SFE entre la position assise et la position debout $p < 0,001$ → L'angle MLA est significativement plus petit pendant le SFE que pendant le TCE dans les deux positions (assis $p = 0,001$ et debout sur une jambe $p < 0,001$) → Il n'y a pas de différence significative dans les angles de MLA entre la position assise et la position debout sur un pied pour le SFE $p = 0,251$ → L'angle de la MLA est significativement plus important entre la position assise et la position debout sur un pied pour le TCE $p < 0,001$ IV. Discussion Dans cette étude : l'angle MLA diminue de 2,8% dans la position assise et 3,6% dans la position debout sur une jambe pendant le SFE par rapport à la position de repos. Au cours de cet exercice l'activité musculaire de l'abd h était de 45,2%MVIC en position assise et 73,2%MVIC en position debout sur un pied. Ces résultats suggèrent que l'augmentation de l'activité musculaire de l'abd H pourrait contribuer à la diminution de l'angle MLA. Dans cette étude, une augmentation de l'angle MLA fait référence à un abaissement de la MLA indiquant une pronation du pied. D'autres étude ont montré que l'abd h avait un rôle important dans le support de cette arche et le contrôle de la pronation en position statique. Ainsi un protocole de recrutement de l'abdh pourrait être considéré pour diminué l'angle MLA et maintenir l'arche du pied des personne avec un pied en pronation. L'abd h est significativement plus activé dans le SFE que dans le TC. L'angle MLA est significativement plus petit dans le SFE que le TC tant dans la position assise que dans la position debout sur un pied. Le SFE devrait être proposé pour renforcer ce muscle plutôt que le toe-curl exercise. Il y a une différence significative de l'angle de la MLA entre SFE et TC dans les deux positions ; ce résultat montre que l'abd H joue un rôle de fléchisseur plantaire du premier rayon ce qui stabilise l'articulation médio-tarsienne contre le sol pendant la phase de propulsion.
--	---

	Pendant le SFE l'activité musculaire de l'abd h est significativement augmentée entre la position assise et la position debout sur une jambe ce qui indique que la position de réalisation de l'exercice est importante et devrait être considérée. <u>Limites</u> : pas de mesures de l'EMG des autres petits muscles intrinsèques du pied pendant l'exercice ; les résultats ne peuvent donc pas s'appliquer pour les autres muscles. Ensuite, il y a peut-être un effet lié aux différents tests, malgré les 10 minutes de repos et l'ordre des tests assigné de façon randomisée. Pour finir il n'y a pas eu de mesure des muscles extrinsèques (tibial antérieur et postérieur, long fléchisseur de l'hallux) qui contribuent à la supination du pied. V. Conclusion Le SFE est plus utile pour le renforcement de l'abd H que le TCE, de part l'activation musculaire et la prévention de l'écrasement de la MLA. De plus les positions d'exercice doivent être considérées. Nécessité de déterminer les effets sur le long-terme sur la MLA du renfo de l'abd H avec le SFE pour les patients avec une pronation excessive.
COMMENTAIRE OU QUESTIONNEMENT SECONDAIRE	Etude comparative randomisée de faible puissance. Grade B. -Randomisation -Population saine et jeune, non représentative de la population générale -Faible effectif -Pas de double-aveugle

Fiche de lecture 11

AUTEUR	Jung, Do-Young; Koh, Eun-Kyung; Kwon, Oh-Yun
TITRE	<i>Effect of foot orthoses and short-foot exercise on the cross-sectional area of the abductor hallucis muscle in subjects with pes planus: a randomized controlled trial</i>
TYPE DE DOCUMENT	Article scientifique
SOURCE	Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation, volume 24
DATE DE PARUTION	2011
NOMBRE DE PAGES (n° de pages)	7 pages (p.225-231)
PLAN DE L'ARTICLE	I. Introduction II. Méthode a) Participants b) Outcome measures -Cross-sectional area of abductor halucis -Strength of the flexor hallucis c) Procedure d) Statistical analysis III. Résultats IV. Discussion V. Conclusion
ELEMENTS DE L'ARTICLE EN LIEN AVEC LA PROBLEMATIQUE	Mots-clés : abductor hallucis, medial longitudinal arch, pes planus, short-foot exercise Eléments détaillés en lien avec le sujet : I. Introduction Objectif : déterminer les effets des orthèses/semelles plantaires et de renforcement (SFE) associé à des orthèses sur la CSA (cross sectional area) de l'abducteur de l'hallux et la force du fléchisseur de l'hallux. II. Méthode a) Participants 240 volontaires ont été reçus puis sélectionnés selon la présence de pieds plats bilatéraux. Tests de sélection pour identifier les pieds plats : Resting calcaneal Stance Position (RCSP) et le Navicular Drop Test (NDT). RCSP : 4° d'éversion ou plus, NDT : supérieur à 13mm. Critères d'exclusion : -Antécédents de chirurgie du pied ou de la cheville -Neuropathie périphérique -Maladie systémique -Maladie neurologique -Déformations sévères du pied -Déficience cognitive Au final : 28 sujets répondent aux critères d'inclusion/exclusion. Randomisation et allocation à un des deux groupes : Foot orthosis (FO) ou FO + SFE (FOSFE) b) Outcome measures Pour chaque sujet le pied testé a été sélectionné par randomisation (cartes). Les tests ont été réalisés avant et après par les mêmes examinateurs. -Cross-sectional area of abductor halucis Appareil ultrasons pour l'ABDh. Mesure de la CSA de l'abdH par 3 mesures répétées. -Strength of the flexor hallucis Dynamomètre pour mesurer la force du fléchisseur de l'hallux. Les participants ont du pousser le plus fort possible avec leurs orteils pendant 5 seconds sans soulever le talon ou fléchir la phalange distale. <u>Critères de jugement</u> : CSA de l'abd h et la force du fléchisseur de l'hallux. c) Procedure Des orthèses sur-mesure ont été fabriquées pour chaque sujet. Portées pendant 8 semaines. Les sujets du groupe avec le short foot exercise ont dû réaliser un programme de renforcement en plus : sur un pied, le genou légèrement fléchi, les index droit et gauche contre le mur pour maintenir l'équilibre. Pour le SFE il a été demandé aux sujets d'élever leur MLA en raccourcissant le pied dans l'axe antéro-postérieur et d'essayer d'atteindre avec la tête du premier métatarsien le talon sans flexion des

	orteils. 3 séries avec 5 répétitions, deux fois par jour. Pour chaque répétition le sujet devait maintenir la position 5 secondes. Période de repos : 2minutes. L'examineur principal a accompagné pendant les deux premières séries les patients pour les aider selon leurs capacités. Si la tubérosité naviculaire était maintenue pendant toutes les répétitions la progression du SFE était avancée. La répétition des exercices augmentait par série, puis le temps de maintien augmentait à 10 secondes. L'examineur principal rencontrait les sujets une fois par semaines pendant 8 semaines pour évaluer si le sujet effectuait le protocole d'exercice correctement et pour modifier la progression. d) Statistical analysis Independent t test utilisé pour comparer les valeurs initiales, ANOVA utilisé pour comparer les groupes avant et après l'intervention. Pearson correlation utilisée pour déterminer la relation entre la CSA de l'abd h et la force du FH avant et après l'intervention. III) Résultats Pas de différence significative entre les groupes en termes d'âge, de poids et de taille au début. Il apparaît qu'après l'analyse ANOVA la CSA de l'abd h a significativement augmenté après l'intervention dans les deux groupes ($p=0,000$). La moyenne de la CSA était significativement plus haute dans le groupe avec SFE ($p=0,008$). La force du FH a significativement augmenté après l'intervention dans les deux groupes ($p=0,000$). Les changements sont significativement plus importants dans le groupe FOSFE ($p=0,008$). Le changement observé entre la CSA de l'abd H et la force du FH avant et après l'intervention, sont corrélés ($r=0,476$ et $p=0,005$). IV) Discussion Cette étude montre que 8 semaines de short foot exercise associé à des semelles/ orthèses est plus efficace comparé à des orthèses seules pour augmenter la CSA de l'abd h et la force du FH chez les sujets avec des pieds plats. Force FH a augmentée de manière significative de 4,9% dans le groupe FO et 11,18% dans le groupe FOSFE. Le changement de la CSA de l'abd h est corrélée avec le changement de la force du FH. Dans cette étude la CSA ABDH et la force FH ont significativement augmenté dans le groupe avec les orthèses seules. Les orthèses peuvent assister et maintenir l'alignement du pied. Elles augmenteraient le feedback des récepteurs cutanés qui stimuleraient les muscles et réduiraient l'éversion, ce qui expliquerait ces résultats. <u>Limites</u> : pas de double aveugle, juste simple aveugle. Pas très pertinent puisque seuls des sujets avec pieds plats asymptomatiques ont été sélectionnés. D'autres recherches sont nécessaires pour déterminer s'il y a une corrélation entre l'augmentation de la CSA de l'abdh et la force du FH avec une diminution de la douleur chez les patients atteints de pathologies micro-traumatiques liées aux pieds plats. Enfin l'âge des sujets qui sont jeunes, ne permettant pas de généraliser à la population entière. Conclusion Sujets avec pieds plats : augmentation significative de la CSA de l'abdh et de la force du FH après 2 mois de participation au programme d'intervention FOSFE était plus efficace que juste FO
COMMENTAIRE OU QUESTIONNEMENT SECONDAIRE	Essai contrôlé randomisé, grade B Score PEDro : 9/11 -Biais d'évaluation : Essai en simple aveugle -Biais de confusion : le groupe contrôle a quand même des orthèses plantaires (intervention) -Population avec des pieds plats, non représentative de la population générale -Biais de mesure : sélectivité des IFM avec le dynamomètre ? (influence des extrinsèques ?)

Fiche de lecture 12

AUTEUR	Sulowska, Iwona; Oleksy, Łukasz; Mika, Anna; Bylina, Dorota; Sołtan, Jarosław
TITRE	<i>The Influence of Plantar Short Foot Muscle Exercises on Foot Posture and Fundamental Movement Patterns in Long-Distance Runners, a Non-Randomized, Non-Blinded Clinical Trial</i>
TYPE DE DOCUMENT	Article scientifique
SOURCE	Journal PLOS One, volume 11
DATE DE PARUTION	2016
NOMBRE DE PAGES (n° de pages)	12 pages (p.1-12)
PLAN DE L'ARTICLE	I. Introduction II. Matériel et méthode a) Participants b) Procédures c) Analyse statistiques III. Résultats a) The Foot Posture Index (FPI-6) b) The Functional Movement Screen (FMS) IV. Discussion V. Conclusions VI. Practical implications
ELEMENTS DE L'ARTICLE EN LIEN AVEC LA PROBLEMATIQUE	Mots-clés : Eléments détaillés en lien avec le sujet : I. Introduction Objectif : examiner les effets des exercices des muscles plantaires sur les coureurs de fond ; examiner deux sortes de renforcements et les effets sur les schémas de course et la posture du pied. II. Matériel et méthode a) Participants 25 coureurs de fond : 11 femmes et 14 hommes de 22 à 35 ans, avec une fréquence de course de 3 à 7 fois par semaine et une distance totale de 30 à 100km par semaine. La distance de course a été inchangée pendant l'étude et les coureurs ont reçu l'instruction de ne pas changer leur routine d'entraînement. <u>Critères d'exclusion :</u> -antécédent de blessures dans les 6 mois avant l'intervention Toutes les mesures ont été prises par un investigateur en aveugle sur l'allocation aux groupes. Etude rétrospective. b) Procédures Répartition en 2 groupes : - Groupe 1 (n=13) : Exercices réalisés : Vele's Forward Lean et Reverse Tandem Gait - Groupe 2 (n=12) : Exercice réalisé : Short Foot exercise Pas de randomisation. Exercices réalisés pendant 6 semaines (mesures prises avant et après les 6 semaines). - <i>Foot Posture Index</i> utilisé pour évaluer le pied. - <i>Functional Movement Screen test</i> : estime la qualité du mouvement fondamental qui demande de la stabilité, de la mobilité, de la force, de la coordination et un contrôle neuromusculaire normal. 7 mouvements pour le test : 1) squat profond 2) passage d'obstacle 3) fente en avant 4) mobilité de l'épaule 5) Lever de jambe actif 6) stabilité du tronc/pompe 7) stabilité en rotation Echelle d'évaluation de 0 à 3 pour chaque mouvement. Pendant les tests les coureurs ont été évalués selon le plan frontal, sagittal et de dos. Chaque test a été réalisé 3 fois. Le score maximal est de 21. Les sujets ont dû réaliser leurs exercices pieds nus deux fois par jour pendant 15 minutes, tous les jours pendant 6 semaines. → <u>Groupe 1</u> : <i>Vele's Forward Lean</i> : en position debout, se pencher le plus en avant possible, bras le long du corps avec les pieds écartés de la largeur des épaules, les talons collés au sol et le corps aligné. <i>Reverse Tandem Gait</i> : marche en arrière le long d'une ligne droite avec un pied directement derrière l'autre et les bras le long du corps. La charge est d'abord mise sur les métatarses puis sur le talon.

	→ <u>Groupe 2</u> : <i>Short-foot exercise</i> : raccourcissement du muscle selon un axe antéro-postérieur ; ramener la tête des métatarsiens vers le talon sans flexion des orteils, puis transfert de la charge sur les 3 points d'appui. Variation des exercices : assis, debout, demi-squat. Progression si l'exercice dans la position précédente est bien réalisé. Au début : 15 minutes en position assise, puis 7min30 en position assise et 7min30 en position debout, et enfin 5min en position assise, 5min en position debout et 5min en demi-squat. c) Analyse statistiques Alpha=0,05 III. Résultats Pas de différence significative dans les valeurs du FPI-6) et du FMS pour les groupes 1 et 2 par rapport aux mesures de départ. a) The Foot Posture Index (FPI-6) Après 6 semaines d'entraînement, il y a une amélioration significative pour les paramètres suivants : palpation de la tête du talus dans le groupe 1 ($p=0,001$), d'une petite pronation vers une position plus neutre pour les deux membres ; inversion/éversion du calcaneum dans le groupe 2 ($p=0,017$) d'une petite pronation vers une position plus neutre pour les deux membres. Pas de différence significative pour les scores totaux. b) The Functional Movement Screen (FMS) Il y a une amélioration significative dans le groupe 1 des schémas des mouvements : deep squat ($p=0,007$), lever de jambe actif ($p=0,001$) et score total. Il y a une amélioration significative du score total pour le groupe 1 ($p=0,002$) allant de 13 points à 17. L'amélioration du score est notable pour le groupe 2 mais non significative ($p=0,063$). IV. Discussion Le résultat principal est que les exercices de renforcement des muscles plantaires modifient de façon significative la posture du pied et réduit la tendance à la pronation chez les coureurs de fond. De plus ces exercices ont un effet bénéfique sur les schémas des mouvements fondamentaux. Ces effets et leurs conséquences pourraient être significatifs pour les entraînements d'athlétisme. - Le changement de la posture du pied vers un pied plus neutre après 6 semaines d'entraînement a pu être observé dans les 2 groupes ; changement significatif pour les 2 groupes à la palpation de la tête du talus. Quelques études décrivent la relation entre un pied en pronation excessive et le risque de blessures. <u>Limites</u> : population saine ne présentant pas de pied en pronation excessive (donc non généralisable à ce type de population). Pas de groupe contrôle. Comparaison de 2 exercices et pas de groupe sans exercice. FPI-6 permet une évaluation statique de la posture du pied et ne peuvent pas être extrapolé aux positions dynamiques. V. Conclusions L'observation du changement de posture du pied d'une légère pronation vers un pied en position plus neutre suggère que les exercices proposés pourraient avoir un bénéfice sur l'alignement du pied chez les coureurs de fond. Le score le plus haut du Functional Movement Screen test suggère que les exercices pourraient améliorer la qualité du schéma du mouvement fondamental et par là réduire le risque de blessure. En se basant sur ces résultats il est possible de suggérer que les programmes d'entraînement sont effectif avec une légère supériorité du VELe's Forward Lean et du Reverse Tandem Gait. Practical implications Les exercices de renforcement des muscles plantaires modifient de façon significative la posture du pied et réduisent la tendance à la pronation des coureurs de fond. Ils pourraient améliorer la qualité des schémas des mouvements fondamentaux et par là réduire le risque de blessures. Un entraînement optimal de ces muscles chez les coureurs de fond pourrait être introduit dans leur routine d'entraînement quotidienne.
COMMENTAIRE OU QUESTIONNEMENT SECONDAIRE	Etude interventionnelle pré-post test, grade C. Non randomisée, non contrôlée -Biais d'évaluation : pas de double aveugle -Biais de confusion : pas de contrôle à la maison

Fiche de lecture 13

AUTEUR	Gooding, Thomas M.; Feger, Mark A.; Hart, Joseph M.; Hertel, Jay
TITRE	<i>Intrinsic Foot Muscle Activation During Specific Exercises: A T2 Time Magnetic Resonance Imaging Study</i>
TYPE DE DOCUMENT	Article scientifique
SOURCE	Journal of Athletic Training, volume 51, numéro 8
DATE DE PARUTION	2016
NOMBRE DE PAGES (n° de pages)	7 pages (p.644-650)
PLAN DE L'ARTICLE	I. Introduction II. Méthode a) Participants b) Instruments c) Testing procedures d) Exercise descriptions e) Data processing f) Statistical analysis III. Résultats a) Short-foot exercise b) Toes-spread-out exercise c) First-toe-extension exercise d) Second-to-fifth-toes-extension exercise IV. Discussion V. Conclusion
ELEMENTS DE L'ARTICLE EN LIEN AVEC LA PROBLEMATIQUE	Mots-clés : short-foot exercise, muscle functional magnetic resonance imaging, toes spread out, medial longitudinal arch Eléments détaillés en lien avec le sujet : I. Introduction Objectif : décrire les changements d'activité des muscles intrinsèques après 4 exercices (mesure IRM). Quantifier l'activation des IFM par IRM après 4 exercices différents. II. Méthode Etude descriptive en laboratoire, étude cross-over. Variable indépendante : temps (pré et post exercice) 4 exercices analysés : - Short foot exercise - Toe spread out - First toe extension - Second to fifth toes extension Variable dépendante : T2 time → pourcentage d'augmentation d'activation (relatif au niveau de base d'activation) après chacun des 4 exercices, enregistré de manière individuelle pour chacun des muscles intrinsèques suivants : abducteur de l'hallux, court fléchisseur des orteils (flexor digitorum brevis), abducteur du 5, carré plantaire, court fléchisseur du 5, adducteur oblique de l'hallux, court fléchisseur de l'hallux, les interosseux et les lombricaux. a) Participants 8 athlètes du National Collegiate Athletic Association Division I cross-country : 5 hommes, 3 femmes. <u>Critères d'inclusion</u> : si les participants ont déjà eu une expérience avec ces exercices et peuvent effectuer les 4 exercices correctement avec chaque pied. <u>Critères d'exclusion</u> : toutes conditions pouvant affecter la taille ou la fonction musculaire, ou s'ils sont restreints et ne peuvent participer pleinement à l'activité à cause d'une blessure au moment du testing. b) Instruments Machine 3-tesla MRI c) Testing procedures Avant la prise de mesure initiale les participants ont été assis pendant 10 minutes sans poids de corps pour minimiser l'activité des IFM. Après le scanner, ils ont été à nouveau assis en posant les pieds au sol. Ils ont réalisé 1 des 4 exercices avec le pied droit et un exercice différent avec le gauche (Différentes paires d'exercices ont

été pratiqués d'un jour à l'autre). Les exercices ont été réalisés de façon alternative d'un pied à l'autre selon le rythme d'un métronome (un coup le pied droit, un coup le pied gauche). Métronome réglé à 20 battement par minute, chaque contraction durant 3 secondes. Les participants ont réalisé 40 répétitions pour chaque pied puis sont retournés au scanner. Le nombre de répétitions a été déterminé lors de tests pilotes. L'ordre des exercices pour les pieds a été donné de façon randomisée. Les participants ont donc réalisé 2 exercices différents pour le premier jour, 1 pour chaque pied, puis 48h après sont revenus faire des scans, 2 autres exercices et un scan post-exercice.

d) Exercise descriptions

- *Short-foot exercise* : raccourcissement du pied pour élever l'arche médiale longitudinale, en amenant les têtes des métatarsiens vers le calcaneum sans flexion des orteils ou contractions des muscles extrinsèques.
- *Toes-spread-out exercise* : extension des 5 orteils puis abduction simultanée à la flexion du 1^{er} et du 5^{ème} orteil vers le sol en gardant les orteils 2, 3 et 4 en extension.
- *First and Second to fifth toe extension exercise* : First-toe-extension → extension du gros orteil tandis que les 4 autres restent en position neutre sur le sol. Second to fifth-toe-extension → Extension des orteils 2 à 5 pendant que le gros orteils reste sur le sol.

e) Data processing

Pour chaque muscle 3 séries de planches d'IRM ont été retenues et utilisées pour l'analyse (surface de section transversale la plus large). Ces muscles ont été identifiés par un chercheur entraîné en aveugle (ne savait pas si c'était pré ou post test et dans le cadre de quel exercice).

Pourcentage d'augmentation de l'activation musculaire après chaque exercice a été calculé : $((\text{Active pixels})/(\text{Total pixels} - \text{Inactive pixels})) \times 100 = \% \text{ Active muscle}$
→ (% active muscle post-exercice) – (% active muscle pre-exercice) = % d'augmentation de l'activation

f) Statistical analysis

Les mesures T2 time ont été prises pour chaque muscle pré et post exercice. Alpha=0,05.

III. Résultats

Pour chacun des 4 exercices il y a un résultat d'activation de tous les muscles intrinsèques d'au moins 8,9%, jusqu'à 35,2%.

a) Short-foot exercise

Augmentation de l'activation de 16,7% +/- 12,1% pour le carré plantaire jusqu'à 34,9% +/- 8,1% pour l'abducteur du 5^{ème} orteil.

b) Toes-spread-out exercise

De même, augmentation de 17,3% +/- 10,8% pour les interosseux et lombrireaux jusqu'à 35,2% +/- 11,6% pour l'abducteur du 5^{ème} orteil.

c) First-toe-extension exercise

Augmentation plus limitée avec la valeur la plus basse de 13,1% +/- 8,8% pour le court fléchisseur de l'hallux et la plus haute 18,1% +/- 8,6% pour le court fléchisseur des orteils.

d) Second-to-fifth-toes-extension exercise

Augmentation de 8,9% +/- 5,0% pour les interosseux et lombrireaux jusqu'à 22,5% +/- 12,6% pour l'abducteur du 5^{ème} orteil.

IV. Discussion

Les 4 exercices ont généré une activation des fléchisseurs plantaires intrinsèques, avec un pourcentage moyen d'augmentation de l'activation entre 8,9% et 35,2%. Le SFE montre les plus grands pourcentages d'augmentation de l'activation pour l'abducteur du 5^{ème} orteil (34,9%), l'abducteur de l'hallux (29,7%) et le fléchisseur des orteils (24, 8%). Cela peut être le résultat des orientations anatomiques parallèles de ces muscles sur l'arche longitudinale.

Le Toe-spread-out exercise montre les plus hauts pourcentages d'activation pour l'abducteur du 5^{ème} orteil (35,2%), l'adducteur oblique de l'hallux (31,5%) et le fléchisseur des orteils (30,2%).

Le First-toe-extension exercise montre le plus grand pourcentage d'activation pour le court fléchisseur des orteils (18,1%), l'abducteur de l'hallux (16,9%) et le

	fléchisseur du 5^{ème} orteil (16,3%). Alors que le 1^{er} orteil est en extension, les autres orteils sollicitent la musculature intrinsèque du pied pour rester plaqués au sol. Pour le second-to-fifth-toe-extension les pourcentages d'augmentation d'activation les plus grands concernent l'abducteur du 5^{ème} orteil (22,5%), le court fléchisseur de l'hallux (20,2%) et l'adducteur oblique de l'hallux (17,6%). Le court fléchisseur de l'hallux et l'adducteur oblique de l'hallux semblent jouer un rôle important pour le maintenir au sol lors de l'extension des autres orteils. Il n'est pas possible aux vues de cette étude de donner des recommandations à propos de chaque exercice qui correspondraient le mieux pour viser spécifiquement certaines insuffisances des IFM. Il est possible d'identifier quel muscle est utilisé pour chaque exercice mais il n'est pas possible de spéculer si l'augmentation ou la diminution des niveaux d'activation parmi les participants indique la difficulté de l'exercice pour chaque individu ou la force requise pour réaliser l'exercice. Par exemple certains participants pourraient avoir un meilleur contrôle neuromusculaire des IFM et donc moins d'activation pour réaliser les 40 répétitions. Dans cette étude le toes-spread out exercise montre une activation plus importante de l'abducteur de l'hallux que le SFE (différence moyenne de 44,96%). Toutefois la différence reste minimale dans un échantillon sain. Il faudrait examiner les différences entre les activations entre une population saine et des individus blessés. Les résultats de cette étude démontrent que quel que soit la portion de segment mobilisée pour les exercices, tous les muscles intrinsèques plantaires sont activés après la tâche réalisée. Cela indique que le rôle des muscles intrinsèques ne peut se limiter à leur origine anatomique et leur insertion. Les IFM ont un rôle fonctionnel au cours de ces exercices mais il est difficile d'évaluer la contribution de chaque muscle. Il est difficile d'isoler chacun de ces muscles mais cela devrait être investiguer dans de prochaines études. Aux vues d'études similaires l'âge semblerait influencer le pic d'intensité du signal T2 (ici population jeune). De plus lors de la réalisation de ces exercices il est courant d'établir une progression dans l'intensité des exercices (assis, debout, sur une jambe...). Enfin il serait intéressant d'évaluer cela chez des patients sains et « pathologiques » (fasciite plantaire, hallux valgus, autres troubles de la cheville ou du pied) et de comparer la fonction musculaire. <u>Limites</u> : petit échantillon, jeunes athlètes (difficile de généraliser à une population moins active ou présentant des pathologies ou ayant une morphologie de l'arche différente). Conclusion Tous les IFM étudiés montrent une augmentation de l'activation pour chacun des 4 exercices. SFE, TSOE, 1TEE, 25TE causent chacun l'activation de tous les intrinsèques et peuvent être recommandés comme moyens d'entraînement de ces muscles.
COMMENTAIRE OU QUESTIONNEMENT SECONDAIRE	Etude descriptive/observationnelle/transversale, grade C. Grille STROBE : 13 items sur 22 -Très faible échantillon, non représentatif de la population. Sportifs de haut niveau. Non généralisable à l'ensemble de la population -Biais de sélection

Résumé

Contexte : Les muscles intrinsèques du pied jouent un rôle prépondérant dans le soutien de l'arche médiale longitudinale et participent à son intégrité. Une dysfonction ou une faiblesse de ces muscles diminue la résistance du système aux contraintes mécaniques qui s'y exercent ; le pied et ses structures peuvent ainsi être sur-sollicités, laissant apparaître des pathologies micro-traumatiques.

Objectif : Evaluer les effets du renforcement de la musculature intrinsèque du pied par rapport à la posture, la force et la performance, ainsi que mettre en évidence l'intérêt préventif ou curatif d'une telle intervention dans le cadre de la rééducation des patients atteints de pathologies micro-traumatiques.

Méthode : Les bases de données PubMed, Google Scholar et LISSa ont été investiguées ; 13 articles ont été retenus et analysés à l'aide de la grille d'évaluation PEDro pour les essais cliniques randomisés, et de fiches de lecture.

Résultats : Il est difficile d'évaluer l'efficacité du renforcement des muscles intrinsèques compte tenu de la diversité des interventions investiguées et des mesures utilisées. Les résultats sont dépendants du type d'exercice, de la position dans laquelle est réalisée l'exercice et le nombre de séance par semaine. Le Short-foot exercise semble être l'exercice recrutant le mieux la musculature intrinsèque, qui plus est en position debout sur un pied, ou au cours d'une activité fonctionnelle dynamique.

Conclusion : Le renforcement de la musculature intrinsèque du pied par le biais d'exercices ou d'électrostimulation neuromusculaire semble avoir des effets significatifs sur le support statique et dynamique de l'arche médiale longitudinale, mis en évidence par la correction de la posture de l'arche, l'augmentation de la force musculaire et l'amélioration de la performance. Ces résultats pourraient avoir un intérêt pour le traitement ou la prévention des pathologies micro-traumatiques. Toutefois, des recherches complémentaires devraient être menées sur une population spécifique de patients présentant ces pathologies pour affirmer cette hypothèse.

Mots-clefs : électrostimulation, exercices de raccourcissement du pied, kinésithérapie, muscles intrinsèques du pied, pathologie micro-traumatique, prévention, renforcement, traitement