



Avertissement

Ce document est le fruit d'un long travail et a été validé par l'auteur et son directeur de mémoire en vue de l'obtention de l'UE 28, Unité d'Enseignement intégrée à la formation initiale de masseur kinésithérapeute.

L'IFMK de Nancy n'est pas garant du contenu de ce mémoire mais le met à disposition de la communauté scientifique élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : secretariat@kine-nancy.eu

Liens utiles

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 122. 4.

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 335.2- L 335.10.

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F23431>

MINISTÈRE DE LA SANTÉ
RÉGION GRAND EST
INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE DE NANCY

**AFFAISSEMENT DE L'ARCHE LONGITUDINALE MÉDIALE CHEZ LA FEMME
PRIMIGESTE : UNE REVUE DE LA LITTÉRATURE ET LA PROPOSITION D'UN
PROTOCOLE DE PRÉVENTION**

UNE REVUE SYSTÉMATIQUE

Sous la direction d'Adrien ROBERT

Mémoire présenté par Jade PETIT
étudiante en 4^{ème} année de masso-kinésithérapie,
en vue de valider l'UE 28
dans le cadre de la formation initiale du
Diplôme d'Etat de Masseur-Kinésithérapeute

Promotion 2016-2020.



UE 28 - MÉMOIRE
DÉCLARATION SUR L'HONNEUR CONTRE LE PLAGIAT

Je soussigné(e), Jade PETIT.....

Certifie qu'il s'agit d'un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie, de surcroît, que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Conformément à la loi, le non-respect de ces dispositions me rend passible de poursuites devant le conseil de discipline de l'ILFMK et les tribunaux de la République Française.

Fait à Vandoeuvre, le 27/04/2020.....

Signature

Je souhaite remercier toutes les personnes qui m'ont aidée pour la rédaction de ce mémoire.

Je remercie tout d'abord mon jury de mémoire pour sa présence.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de mémoire, Monsieur Robert pour le temps qu'il a consacré à me conseiller et à me guider dans mes réflexions.

Je remercie l'équipe pédagogique de l'IFMK de Nancy pour son enseignement et pour m'avoir fourni les outils nécessaires à la réalisation de ce mémoire. Je remercie en particulier Madame Jambeau et Madame Buatois pour avoir eu la patience de répondre à mes questions.

Un grand merci à mes parents, Anne et Dominique, et à ma sœur Lise, qui ont toujours été là pour moi et m'ont permis de réaliser mes études.

A Nicolas qui m'a été d'une aide très précieuse et qui m'a soutenue et encouragée tout au long de ce travail.

A mes amies, Margot, Noémie, Céline, Lena et Alice pour leurs relectures, leurs conseils et leur soutien.

A Nicolas, Julien et Monsieur Clément pour s'être penchés sur les problèmes informatiques rencontrés au cours de la réalisation de ce mémoire.

A tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

RÉSUMÉ / ABSTRACT

Affaissement de l'arche longitudinale médiale chez la femme primigeste : une revue de la littérature et la proposition d'un protocole de prévention

Introduction : Les femmes ont tendance à développer des pieds plats valgus souples à partir du 2^{ème} trimestre de grossesse, et plus particulièrement lorsqu'elles sont primigestes. Cette déformation semble persister après l'accouchement et peut être à l'origine de troubles musculosquelettiques. La prévention de son apparition semble donc pertinente. L'objectif de notre revue de la littérature est de déterminer l'efficacité du renforcement musculaire pour prévenir ou lutter contre l'affaissement de l'arche longitudinale médiale (ALM) en position statique. Un protocole de prévention de l'affaissement de l'ALM chez la femme primigeste sera proposé à la suite de notre recherche.

Matériel et Méthode : Les recherches bibliographiques ont été menées entre novembre 2019 et avril 2020, interrogeant les bases de données Medline, Cochrane Library, PEDro et Science Direct ainsi que le moteur de recherche Google Scholar. Les résultats ont été triés en suivant la méthode présentée par l'ANAES et en respectant les critères d'inclusion et d'exclusion. Nous avons analysé les références incluses, permettant ainsi de mettre en évidence les biais, la pertinence et la validité scientifique de chacune.

Résultats : Onze références ont été incluses dans notre revue, comprenant six essais contrôlés randomisés, trois essais contrôlés non randomisés et deux séries de cas. Ces articles étudient l'efficacité du renforcement des muscles intrinsèques et extrinsèques plantaires et des rotateurs latéraux de hanche.

Discussion : Il n'existe pas de consensus pour lutter contre l'affaissement de l'ALM par renforcement musculaire. Le renforcement des muscles intrinsèques plantaires et des rotateurs latéraux de hanche, ainsi que l'étirement des rotateurs médiaux de hanche semblent efficaces pour élever l'ALM en statique. Deux études évaluent l'efficacité de programmes de renforcement musculaire pour traiter et prévenir l'affaissement de l'ALM chez des femmes enceintes. Leurs résultats sont positifs et encourageants pour de futures études concernant cette population.

Mots clés : primigeste, pied plat valgus souple, affaissement de l'arche longitudinale médiale, renforcement musculaire, prévention.

Longitudinal medial arch collapse in primigravid women : a systematic review and a proposal of a protocol of prevention

Introduction : Women tend to develop flexible flat feet from the 2nd trimester of pregnancy, especially when they are primigravid. This deformity seems to persist after delivery and may be the cause of musculoskeletal disorders. Therefore, preventing its occurrence seems relevant. The objective of our review is to determine the effectiveness of muscle strengthening in preventing the fall of the medial longitudinal arch (MLA) in a static position. As a result of our research, a protocol preventing the collapse of MLA in primigravid women will be proposed.

Material and Method : Bibliographic researches were conducted between November 2019 and April 2020 querying the Medline, Cochrane Library, PEDro and Science Direct databases as well as the Google Scholar search engine. The results were sorted following the method presented by the ANAES and respecting the inclusion and exclusion criteria. We analyzed each included reference, thus highlighting each one's biases, relevance and scientific validity.

Results : Eleven references were included in our review ; six randomized controlled trials, three non-randomized controlled trials and two series of cases. These articles study the effectiveness of strengthening the intrinsic and extrinsic plantar muscles and lateral hip rotators.

Discussion : There is no consensus in preventing MLA by strengthening muscles. Strengthening the intrinsic plantar muscles and lateral hip rotators as well as stretching the medial hip rotators appear to be effective in elevating static MLA. Two studies evaluate the effectiveness of muscle strengthening programs in order to treat and prevent MLA collapse in pregnant women. Their results are positive, encouraging future studies in this population.

Key words : primigravid, flexible flatfoot, longitudinal medial arch collapse, muscle strengthening, prevention.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	1
1.1. Le pied plat valgus	2
1.1.1. Anatomie et biomécanique.....	3
1.1.1.1. L'arche longitudinale médiale	3
1.1.1.2. Mouvements de la cheville et du pied et leurs répercussions sur la forme du pied	4
1.1.1.2.1. Le varus et le valgus	5
1.1.1.2.2. La pronation et la supination.....	6
1.1.1.2.3. L'inversion et l'éversion	8
1.1.1.2.4. Mouvements dynamiques du pied	8
1.1.2. Physiopathologie du pied plat valgus.....	9
1.1.3. Conséquences des pieds plats valgus.....	11
1.1.4. Structures maintenant l'arche longitudinale médiale	12
1.1.4.1. Structures passives.....	12
1.1.4.2. Muscles impliqués dans le maintien de l'arche longitudinale médiale.....	13
1.1.4.2.1. Tibial postérieur	13
1.1.4.2.2. Long fibulaire	15
1.1.4.2.3. Long fléchisseur de l'hallux.....	16
1.1.4.2.4. Muscles extenseurs des orteils.....	17
1.1.4.2.5. Muscles intrinsèques plantaires.....	17
1.2. Impacts de la grossesse sur les pieds et les chevilles	19
1.2.1. Augmentation pondérale	19
1.2.1.1. Forme du pied en charge et conséquences d'une augmentation pondérale ..	19
1.2.1.2. Autres raisons de l'apparition de pieds plats valgus souples	20
1.2.2. Augmentation de la laxité articulaire	20
1.2.2.1. Lien entre l'augmentation de la laxité articulaire et l'affaissement de la voûte plantaire	20
1.2.2.2. Hormones responsables de l'augmentation de la laxité articulaire	21
1.2.2.2.1. Relaxine	22
1.2.2.2.2. Œstrogènes et progestérone	22
1.2.3. Conclusion des impacts de la grossesse sur la forme des pieds	22
2. MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	23
2.1. Stratégie de recherche documentaire	23
2.2. Méthode.....	24

3. RÉSULTATS.....	26
3.1. Résultats des recherches.....	26
3.2. Synthèse des résultats	29
3.2.1. Description des exercices de renforcement des MIP.....	29
3.2.1.1. Toe gripping	29
3.2.1.2. Towel Curl Exercise	29
3.2.1.3. Flexion dorsale de l'hallux.....	30
3.2.1.4. Flexion dorsale des 4 derniers orteils	31
3.2.1.5. Toe Spread	32
3.2.1.6. Short Foot Exercise.....	33
3.2.1.7. Vele's Forward Lean	33
3.2.1.8. Reverse Tandem Gait.....	34
3.2.2. Efficacité des techniques proposées.....	34
3.2.2.1. Efficacité du « Short Foot Exercise ».....	34
3.2.2.2. Efficacité du « Toe gripping »	35
3.2.2.3. Efficacité du « Toe Curl Exercise ».....	35
3.2.2.4. Efficacité du « Toe Spread ».....	36
3.2.2.5. Comparaison de l'efficacité de différents exercices de renforcement des muscles intrinsèques impliquant spécifiquement les orteils	36
3.2.2.6. Efficacité du renforcement des intrinsèques lié à d'autres techniques	36
3.2.2.7. Efficacité du « Vele's Forward Lean » et du « Reverse Tandem Gait ».....	37
3.2.2.8. Efficacité du renforcement des extrinsèques pour prévenir ou lutter contre l'affaissement de l'arche longitudinale médiale	37
3.2.2.9. Efficacité du renforcement des rotateurs latéraux de hanche pour élever l'arche longitudinale médiale	38
4. DISCUSSION	39
4.1. Discussion des résultats	39
4.2. Généralisation des résultats	43
4.3. Contrôle de la position articulaire de la subtalaire.....	44
4.4. L'aspect préventif dans les articles inclus	44
4.5. Limites de la revue de la littérature	45
4.5.1. Méthodologie.....	45
4.5.2. Limites de l'évaluation de l'efficacité des techniques.....	45

4.6. Autres techniques conservatrices pour lutter contre l'affaissement de l'ALM	46
4.6.1. Electrostimulation	46
4.6.2. Semelles orthopédiques	46
4.7. Le pied plat valgus souple et la posture	47
5. CONCLUSION	47

LISTE DES ABREVIATIONS

ABDH : Abducteur de l'hallux
ADDH : Adducteur de l'hallux
AHI : Arch Height Index
AHIMS : Arch Height Index Measurement System
ALM : Arche longitudinale médiale
ARI : Arch Rigidity Index
CFO : Court fléchisseur des orteils
CFH : Court fléchisseur de l'hallux
EBP : Evidence Based Practice
ECR : Essai contrôlé randomisé
ECNR : Essai contrôlé non randomisé
EMG : Electromyographie
GC : Groupe contrôle
GT : Groupe témoin
GTE : Great Toe Exercise
HAS : Haute Autorité de Santé
FD : Flexion dorsale
FE : Femme(s) enceinte(s)
FP : Flexion plantaire
LF : Long fibulaire
LFH : Long fléchisseur de l'hallux
LFO : Long fléchisseur des orteils
LTE : Lesser Toe Exercise
M1 : 1er métatarsien
M5 : 5ème métatarsien
MI : Membre inférieur
MIP : Muscle(s) intrinsèque(s) plantaire(s)
MEP : Muscle(s) extrinsèque(s) plantaire(s)
MK : Masseur-kinésithérapeute
MNDT : Modified Navicular Drop Test
ND : Navicular Drop Test
PPVS : Pied(s) plat(s) valgus souple(s)
RL : Rotation laterale
RM : Rotation médiale
SA : Semaine d'aménorrhée

SFE : Short Foot Exercise

SG : Semaine de grossesse

TA : Tibial antérieur

TCE : Towel Curl Exercise

TFL : Truncated Foot Lengths

TP : Tibial postérieur

TS : Toe Spread

1. INTRODUCTION

La grossesse s'accompagne de changements physiques et endocriniens qui entraînent des modifications structurelles et fonctionnelles des membres inférieurs (MI) (1). Une prévalence élevée de pieds plats chez les femmes enceintes (FE) est en effet observée à partir du 2^{ème} trimestre. Elle serait due à l'augmentation du poids corporel et de la laxité ligamentaire (1–5). La hauteur de l'arche longitudinale médiale (ALM) diminue pendant la grossesse (1,3,4,6–10) tandis que la largeur (3,6,9–11), la longueur (3,6,7,9–11) et le volume (3,10,11) des pieds augmentent. La pointure est ainsi agrandie (5,6,9,10). Enfin, les pieds des FE ont tendance à devenir pronateurs à partir du 2^{ème} trimestre de grossesse (10). Ces changements sont surtout observés chez les femmes primigestes (6,11). L'affaissement de l'ALM associé au valgus de l'arrière-pied et à la supination de l'avant-pied constitue le pied plat valgus (12). Celui-ci est couramment observé pendant et après la grossesse (2,13,14).

Ces déformations semblent subsister après l'accouchement (5–7). Dans leurs études, Segal *et al.* et Ramachandra *et al.* observent un affaissement significatif de la voûte plantaire entre le début de la grossesse et le post-partum chez la majorité des participantes (6,7). Segal *et al.* effectuent leurs dernières mesures à dix-neuf semaines post-partum, or les déformations sont toujours présentes chez ces femmes (6). Dunn *et al.* montrent que dans un groupe de femmes ayant été enceintes au minimum une fois il y a plus de dix ans, un plus grand nombre ont vu leur pointure augmenter par rapport à un groupe de femmes nullipares. De plus, la pointure des femmes ayant été enceintes a augmenté de façon plus importante que celle des nullipares. Dunn *et al.* expliquent que l'affaissement des arches plantaires engendre une augmentation de pointure. Par conséquent, ils supposent que les arches se sont affaissées lorsqu'une augmentation de pointure est observée (5).

La prévalence des pieds plats valgus souples (PPVS) est importante chez les FE et semble persister après la grossesse (5–7). Un tableau synthétique présentant les références utilisées est présenté en annexe (ANNEXE I). Plusieurs études ont montré que les femmes souffraient davantage de troubles musculo-squelettiques que les hommes (15). Les pieds plats contribuent à l'augmentation des risques de troubles musculo-squelettiques chez les femmes pendant et après la grossesse, en raison des modifications de la posture qu'ils entraînent (9). Il serait donc intéressant de prévenir les pieds plats valgus apparaissant pendant la grossesse. Plusieurs études cherchent à évaluer l'efficacité du renforcement musculaire pour lutter contre

cette déformation. Le critère de jugement le plus souvent utilisé dans la littérature est l'affaissement de l'ALM en statique. Nous allons donc réaliser une revue de la littérature répondant à la question de recherche suivante : quelle est l'efficacité du renforcement musculaire pour prévenir ou lutter contre l'affaissement de l'ALM en position statique ? Cette revue aura pour finalité la proposition d'un protocole de prévention des PPVS chez les FE par le renforcement musculaire. Dans un premier temps, l'anatomie et la biomécanique de la voûte plantaire seront présentées, puis le pied plat sera décrit, avec ses retentissements fonctionnels. Par la suite, les particularités des pieds des FE seront mises en avant. Dans la partie « matériel et méthode » nous aborderons nos méthodes de recherche. Nous exposerons ensuite les résultats de cette recherche, puis l'adaptation des techniques retrouvées aux FE avec la proposition d'un protocole de prévention.

1.1. Le pied plat valgus

Le pied plat le plus courant chez l'adulte est le PPVS, c'est à dire, dont les déformations sont réductibles (16). C'est ce type de pied plat que présentent les FE lorsque des déformations sont observées (2,13,14), c'est donc celui-ci qui fera l'objet de notre étude.

Le pied plat valgus associe un valgus de l'arrière-pied et une abduction et une supination de l'avant-pied, entraînant un affaissement de l'ALM (Fig.1) (12). La surface de la sole plantaire, c'est-à-dire la surface de contact de la plante du pied avec le sol, est augmentée (2). Dans un premier temps, nous allons détailler l'anatomie et la biomécanique du pied permettant d'éclaircir le mécanisme du pied plat, sa physiopathologie, et pour finir, les structures permettant de lutter contre ces déformations.



Figure 1 : Photographies d'un pied plat valgus (Leemrijse et al., 2015(12))

1.1.1. Anatomie et biomécanique

1.1.1.1. L'arche longitudinale médiale

En position debout statique, le pied possède trois points d'appui plantaires sur lesquels s'applique le poids du corps. Ces points forment un triangle à la plante du pied : deux points d'appui antérieurs (un antéromédial (A) et un antérolatéral (B)) et un postérieur (C) (Fig. 2). Le point A correspond à la tête du premier métatarsien, le point B à la tête du cinquième métatarsien et le point C à la tubérosité postéro-inférieure du calcaneus.

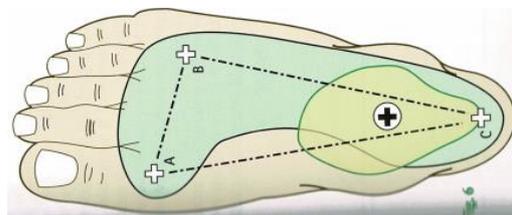


Figure 2 : Représentation des trois points d'appui plantaires (Kapandji, 2007 (15))

Trois arches relient ces points : deux arches longitudinales (une médiale et une latérale) et une arche transversale antérieure. Deux courbures à concavité inférieure peuvent aussi être décrites : une courbure transversale (AB), comprenant l'arche transversale antérieure et une courbure longitudinale, à laquelle les arches longitudinales médiales (AC) et latérales (BC) appartiennent. Les arches longitudinales se poursuivent postérieurement jusqu'au point d'appui calcanéen (Fig.3) (17,18).

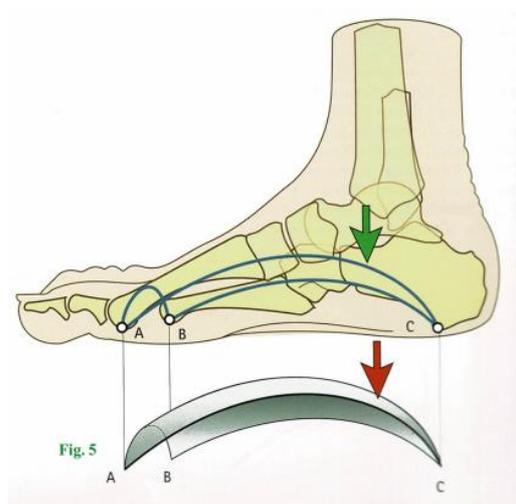
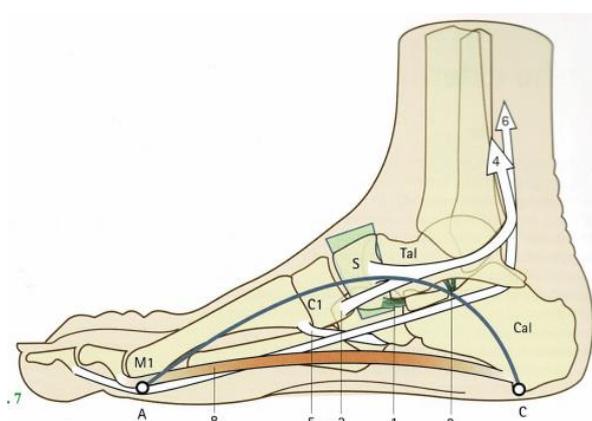


Figure 3 : Vue médiale du pied, représentation des courbures plantaires (Kapandji, 2007 (17))

Dans le cas du pied plat valgus, un affaissement de l'ALM est observé (12). Nous nous intéressons donc plus particulièrement à cette arche et aux éléments la soutenant.

L'ALM comprend 4 os qui sont d'arrière en avant : le calcanéus, le naviculaire, le premier cunéiforme et le premier métatarsien (M1). La clé de voûte de cette arche est l'os naviculaire. Ce dernier et le premier cunéiforme sont suspendus par des ligaments et des muscles (Fig.4) (17).



Légende :

1. Ligament calcanéonaviculaire inférieur
 2. Ligament interosseux talocalcanéen
 3. Expansions plantaires du tibial postérieur
 4. Tibial postérieur
 5. Long fibulaire
 6. Long fléchisseur de l'hallux
 8. Abducteur de l'hallux
- Cal : calcanéus
Tal : talus
S : scaphoïde (naviculaire)
C1 : 1^{er} cunéiforme
M1 : 1^{er} métatarsien
A : point d'appui antérieur de l'ALM
C : point d'appui postérieur de l'ALM

Figure 4 : Représentation de l'arche longitudinale médiale (Kapandji, 2007 (17))

1.1.1.2. Mouvements de la cheville et du pied et leurs répercussions sur la forme du pied

Les mouvements du pied et les mouvements combinés de la cheville et du pied modifient la forme de ce dernier. Ils influencent ainsi la forme de l'ALM en mobilisant les différentes articulations la composant (16).

Le pied peut être découpé fonctionnellement en trois parties mobiles les unes par rapport aux autres (Fig.5), afin de faciliter la description des mouvements (19) :

- L'arrière-pied, composé de l'articulation talo-crurale et de l'articulation subtalaire,
- Le médio-pied, composé de l'articulation de Chopart,
- L'avant-pied, composé des articulations métatarso-phalangiennes et interphalangiennes.

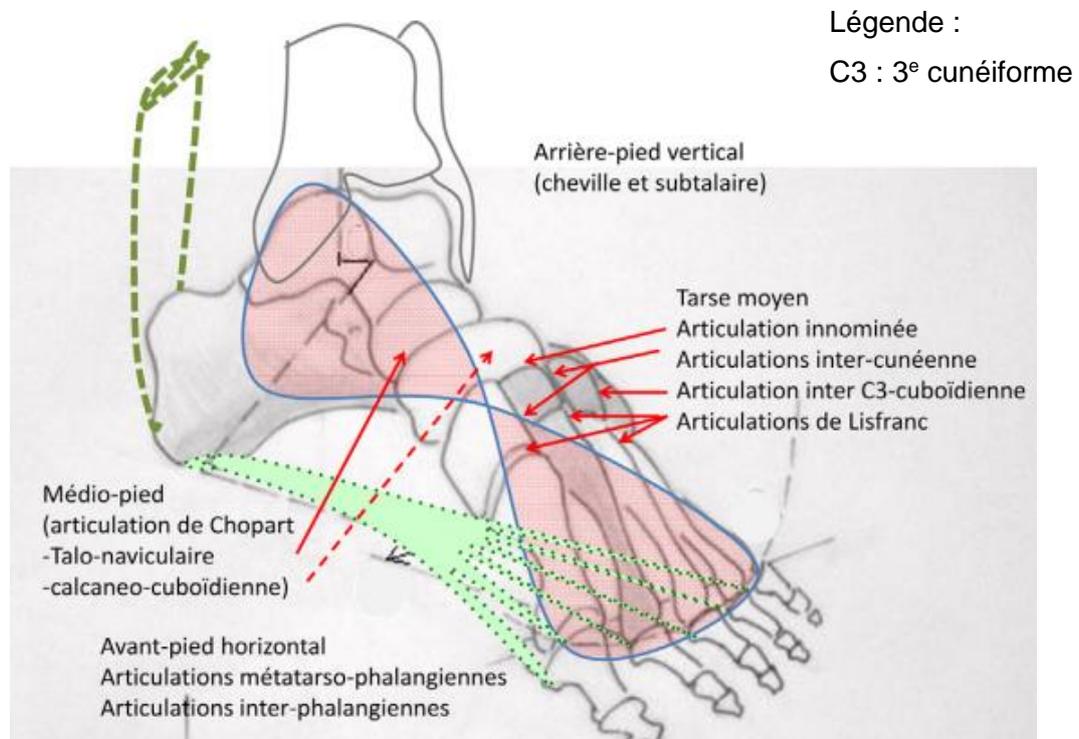


Figure 5 : Organisation architecturale du pied (Maestro, 2014 (19))

Le pied forme une hélice avec un empilement vertical pour l'arrière-pied et une empilement horizontal pour l'avant-pied (Fig.5) (19). Les articulations placées entre l'arrière-pied et l'avant-pied se situent au croisement de l'hélice et subissent des torsions. Elles forment ce que l'on appelle le « complexe de torsion » ou « l'interligne de torsion » (16). Il s'agit de l'articulation médio-tarsienne, ou articulation de Chopart composée des articulations talo-naviculaires et calcanéocuboïdiennes (19).

1.1.1.2.1. Le varus et le valgus

Le varus et le valgus (Fig.6) sont réalisés par l'articulation subtalaire qui permet la transmission des mouvements de l'articulation talo-crurale vers l'arrière-pied. Ces derniers sont fonctionnellement couplés (17). L'articulation subtalaire met en lien le talus et le calcaneus par deux articulations trochoïdes distinctes et indépendantes (18). De par la conformation de ces surfaces articulaires, les mouvements du talus et du calcaneus sont réalisés en sens inverse. Ils ont donc un effet inverse sur la forme du pied et sur la rotation du tibia. Ces mouvements sont « interdépendants et simultanés » (19) :

- Lors d'une varisation du calcaneus, le talus et le tibia effectuent une rotation latérale (RL).
- Lors d'une valgisation du calcaneus, le talus et le tibia effectuent une rotation médiale (RM).

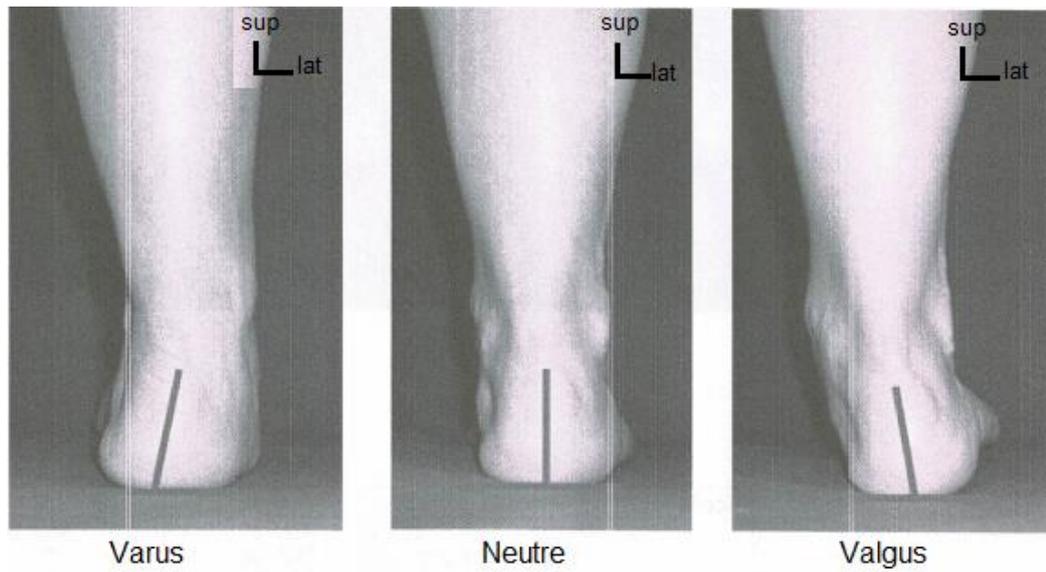


Figure 6 : Varus du calcaneus, position neutre du calcaneus et valgus du calcaneus (inspiré par Redmond et al., 2005 (20))

1.1.1.2.2. La pronation et la supination

Le complexe de torsion au niveau du médio-pied permet les mouvements entre l'arrière-pied et l'avant-pied autour d'un axe sagittal passant par le 2^e métatarsien (M2). Le médio-pied correspond à l'articulation de Chopart, ou articulation médio-tarsienne et comprend l'articulation talo-naviculaire et l'articulation calcaneéo-cuboïdienne. La pronosupination est réalisée au sein de l'articulation talo-naviculaire (19) et peut être décrite ainsi :

- Une torsion de l'avant-pied est une rotation médiale de l'avant-pied, orientant l'avant-pied vers l'extérieur (16). Elle correspond à la pronation (17).
- Une détorsion est une rotation latérale de l'avant-pied, orientant l'avant-pied vers l'intérieur (16). Elle correspond à la supination (17).

Si l'arrière-pied est fixe, la torsion ou pronation de l'avant-pied creuse l'ALM tandis que la détorsion ou supination l'aplatit. Le degré de torsion de ce complexe est donc impliqué dans la hauteur de l'ALM (Fig.7) (16).

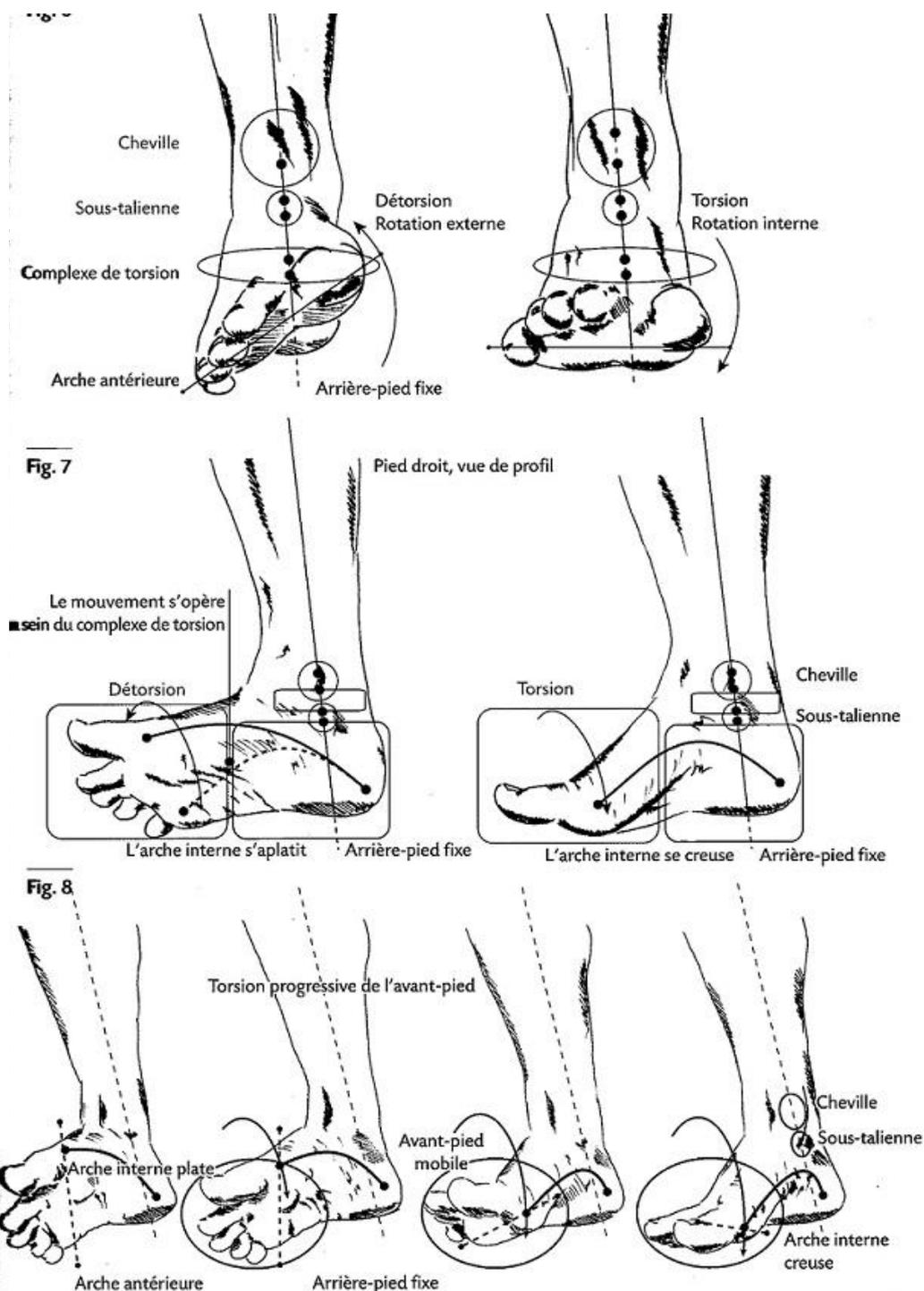


Figure 7 : Représentation de la torsion et de la détorsion (Brigaud, 2015 (16))

Lorsque l'arrière-pied est fixe, les torsions au niveau du médio-pied peuvent créer des mouvements de pronation et de supination de l'avant-pied. Lorsque l'avant-pied est fixe, les torsions au niveau du médio-pied peuvent créer des mouvements de varus et de valgus de l'arrière-pied (16).

1.1.1.2.3. L'inversion et l'éversion

L'inversion et l'éversion sont des mouvements se déroulant dans les trois plans de l'espace et impliquant la cheville et le pied. L'éversion combine les mouvements de flexion dorsale (FD) de cheville, de valgus de l'arrière-pied, de pronation et d'abduction de l'avant-pied. L'inversion combine les mouvements de flexion plantaire (FP) de cheville, de varus de l'arrière-pied, de supination et d'adduction de l'avant-pied. L'inversion élève l'ALM et raccourcit le pied, tandis que l'éversion abaisse l'arche et allonge le pied (Fig.8) (19).

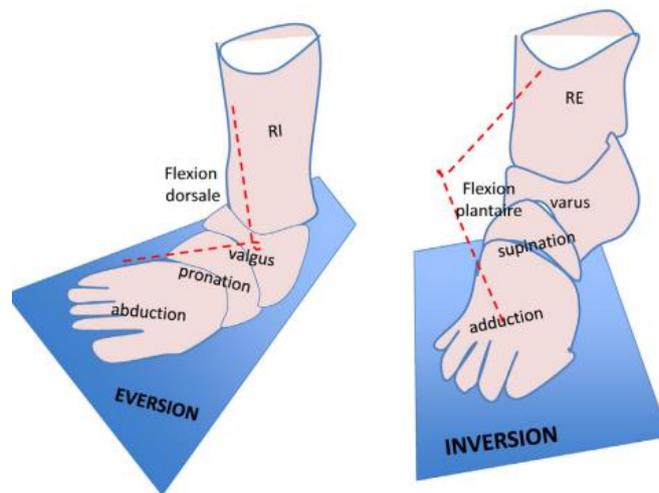


Figure 8 : Représentation de l'inversion et de l'éversion (Maestro, 2014 (19))

Les termes « pied supinateur » et « pied pronateur » sont utilisés pour décrire le pied fonctionnellement, c'est-à-dire en appui et lors de la marche. Le terme de « pied supinateur » est utilisé lorsque le pied est inversé et que l'appui plantaire est plus latéral, tandis que celui de « pied pronateur » l'est lorsqu'il est éversé et que l'appui plantaire est plus médial (21).

1.1.1.2.4. Mouvements dynamiques du pied

En dynamique, la prono-supination du pied est liée au valgus ou au varus de l'arrière-pied. L'articulation calcanéo-cuboïdienne permet l'inversion des mouvements entre le calcaneus et l'avant-pied : un varus calcanéen entraîne une pronation de l'avant-pied tandis qu'un valgus calcanéen entraîne une supination. Les mouvements de prono-supination sont aussi accompagnés de mouvements dans l'articulation de Lisfranc en dynamique. Il s'agit de mouvements combinés. Par mobilisation manuelle, il est possible de les isoler (19).

Pour résumer, les mouvements combinés représentés dans la figure 9 sont :

- Le varus calcanéen, la RL du talus, la pronation (ou RM ou torsion) et l'adduction de l'avant-pied. Cette combinaison de mouvements élève l'ALM.
- Le valgus calcanéen, la RM du talus, la supination (ou RL ou détorsion) et l'abduction de l'avant-pied. Cette combinaison de mouvements abaisse l'ALM.

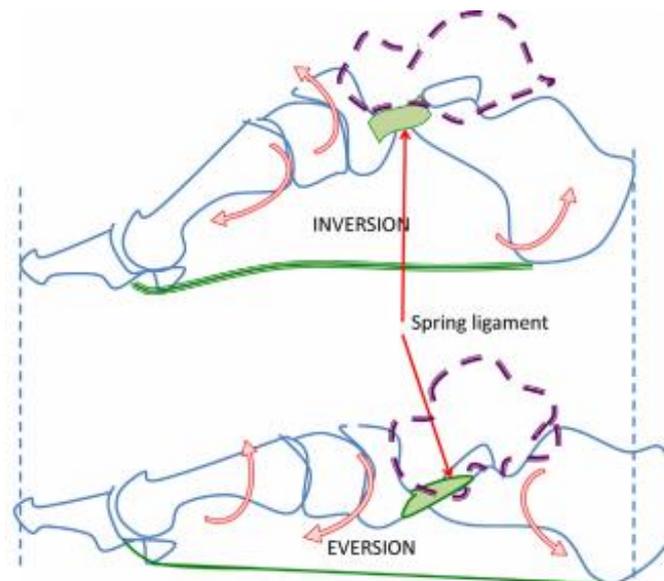


Figure 9 : Représentation de l'inversion et de l'éversion (Maestro, 2014 (19))

1.1.2. Physiopathologie du pied plat valgus

Les déplacements articulaires du tarse positionnant les os les uns par rapport aux autres de façon incorrecte sont à l'origine du pied plat valgus (12). Ils engendrent une détorsion (ou supination) de l'interligne de torsion responsable de l'affaissement de l'ALM (16). D'après Toullec, il s'agit d'un défaut de verrouillage du pied pouvant être retrouvé à trois niveaux : l'articulation talo-naviculaire, l'articulation tibio-tarsienne et les articulations du médio-pied (22).

Lors du bilan visuel subjectif statique, au moins l'une des observations suivantes est relevée chez des sujets ayant les pieds plats (23) : un valgus de l'arrière pied supérieur à 5 degrés (23–26), le *Too-many-toes-sign* (12,23,24,26–28), une ALM basse (12,23–25,27) et la proéminence de la tête du talus médialement (23,27) (Fig.1). Le *Too-many-toes-sign* est positif

quand, en observant le sujet de dos, plus des deux orteils latéraux sont visibles, comme sur la figure 1 (12,23,24,26–28).

Il faut analyser la réductibilité de chaque déformation afin de déterminer s'il s'agit de pieds souples ou enraidis, en évaluant la mobilité articulaire du MI et plus particulièrement de l'arrière-pied (12). Pour cela, il faudra comparer les déformations présentes en charge et en décharge. Si le pied est souple, les déformations s'effacent en décharge (26). D'autres tests existent comme le *Jack's test* (23,24) et le *Double and single heel rise* (23–26) (ANNEXE II). Ce dernier permet aussi d'évaluer la fonction du tibia postérieur (TP) (25,26). Des mobilisations passives manuelles permettent d'apprécier la mobilité de chaque articulation analytiquement.

Il s'agit le plus souvent de PPVS (29). Dans ce cas, ces malpositions articulaires ont pour origine un défaut de soutien de la part des structures actives et passives jouant ce rôle. Selon Kapandji, une dysfonction des éléments de soutien de la voûte plantaire associée à la mise en charge crée un affaissement de toutes les arches, pouvant engendrer des pieds plats valgus (17). D'après Anselmo *et al.* c'est l'augmentation de la laxité du ligament calcanéonaviculaire et l'altération du tendon du muscle TP qui sont à l'origine des PPVS chez les FE (1). Les muscles doivent donc être examinés, notamment le TP ainsi que ses insertions tendineuses distales (12,29).

Dans le cas d'un pied plat valgus, le talus et le calcanéus ne sont pas correctement placés l'un par rapport à l'autre. Il s'agit d'un déplacement articulaire de la subtalaire. Normalement en position debout statique, le talus est placé légèrement médialement par rapport au calcanéus. Cela engendre une légère valgisation du calcanéus et ainsi un valgus de l'arrière-pied de faible amplitude (de 5 degrés environ) (19). Lors d'une déformation en pied plat valgus, le talus chute vers le bas, l'avant (antériorisation) et médialement (adduction) par rapport au calcanéus. Cela accentue la valgisation du calcanéus et donc le valgus de l'arrière-pied. Une flexion plantaire du talus et du calcanéus est aussi observée (12). Le valgus de l'arrière-pied est compensé par une supination de l'avant-pied et inversement (19). Cependant, selon Leemrijse *et al.*, ce sont les déformations de l'arrière-pied qui entraînent celles de l'avant-pied (12).

Le mouvement de valgisation de l'arrière-pied associé au mouvement de supination et d'abduction de l'avant-pied entraîne un affaissement de l'ALM (16), comme nous l'avons vu précédemment. Si les muscles et les ligaments soutenant cette arche ne sont plus capables de la maintenir, ce mauvais positionnement articulaire est susceptible d'être généré (17).

Il est alors intéressant d'analyser l'efficacité du renforcement des muscles luttant contre les déformations du PPVS. Autrement dit les muscles corrigeant ou diminuant le valgus de l'arrière-pied, l'abduction et la supination de l'avant-pied responsables d'un affaissement de l'ALM (12). Cet affaissement est une conséquence de ces mouvements articulaires (16).

1.1.3. Conséquences des pieds plats valgus

Comme nous l'avons vu précédemment, dans le cas du pied plat valgus, le talus est abaissé, antériorisé et en adduction par rapport au calcaneus (12). Ce déplacement du talus va générer une contrainte de RM ascendante. La cheville sera amenée en RM, ainsi que le tibia, pouvant entraîner avec lui une RM du genou, du fémur et de la hanche. Si le fémur ne suit pas cette RM, une torsion du genou peut être créée et transférée sous forme de cisaillement. Cela crée un stress au niveau des articulations tibio-fémorales et fémoro-patellaires (6). Cette torsion met en tension les structures articulaires (ligaments, ménisques, muscles et tendons s'y insérant) (16,30) et engendre un valgus de genou. Le valgus de genou peut également s'accompagner d'une hyperlordose lombaire (31).

Le pied plat valgus engendre un mauvais alignement des articulations sus-jacentes. Ainsi, il peut entraîner des douleurs au niveau des MI et/ou des rachialgies, pouvant entraîner à long terme de l'arthrose et de l'ankylose. Au niveau des genoux notamment, le valgus sera à l'origine d'une mauvaise répartition de la charge sur les surfaces articulaires, pouvant générer une usure prématurée. L'ostéoarthrite de genou est très souvent associée aux pieds plats valgus (32). L'arthrose liée à un désordre postural est nommée arthrose de positionnement (31).

Les pieds plats valgus sont un facteur de risque de développer des pathologies des MI, telles que la périostite tibiale (33,34), la fasciite plantaire (35), le syndrome fémoro-patellaire (36,37), des blessures du ligament croisé antérieur du genou (38) et des douleurs plantaires (35).

1.1.4. Structures maintenant l'arche longitudinale médiale

1.1.4.1. Structures passives

Les structures suivantes sont particulièrement importantes pour le maintien de l'ALM : l'aponévrose plantaire (Fig.10), le ligament calcanéo-naviculaire plantaire, les ligaments plantaires longs et courts (Fig.11) et le faisceau deltoïde du ligament collatéral médial de la cheville (Fig.12) et (29).

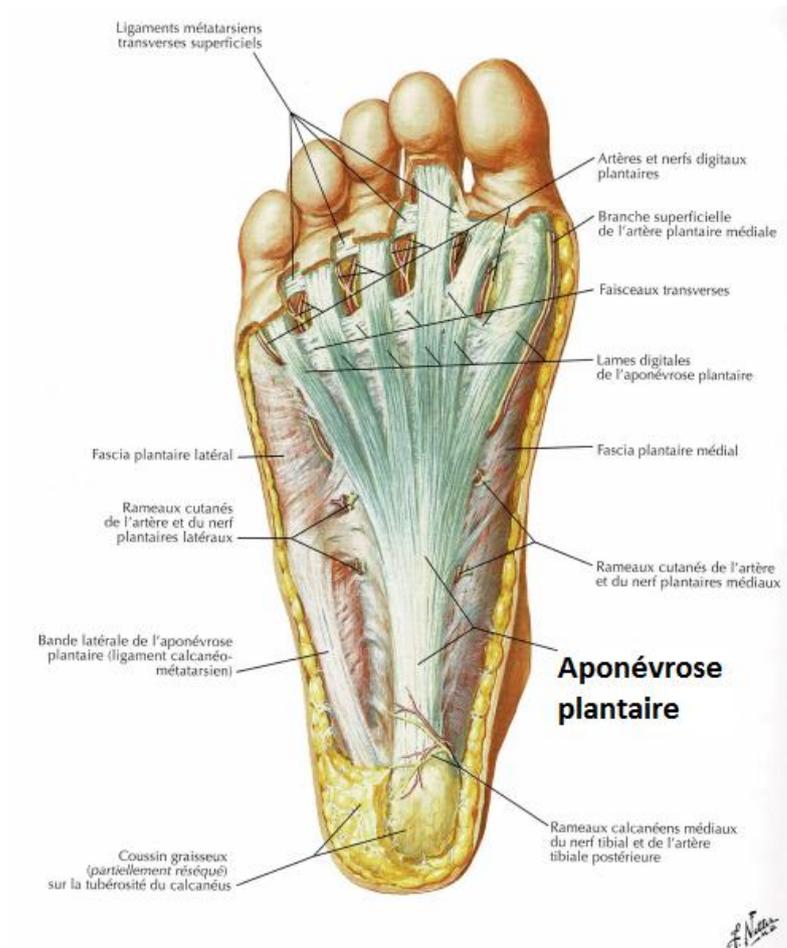
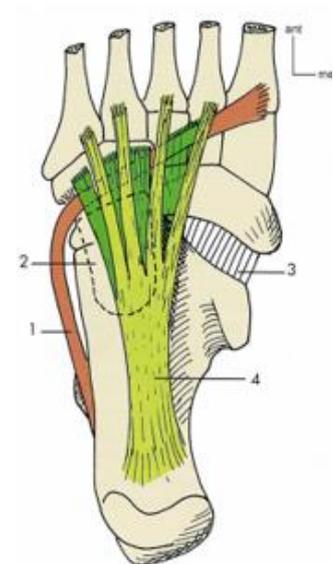


Figure 10 : Vue inférieure de la voûte plantaire (Netter, 2007 (39))



Légende :

1. Tendon du LF
2. Ligament calcanéo-cuboïdien plantaire
3. Ligament calcanéo-naviculaire plantaire
4. Ligament plantaire long : fibre tarsienne (vert foncé) et métatarsienne (vert clair)

Figure 11 : Vue inférieure du tarse (Dufour, 2015 (18))

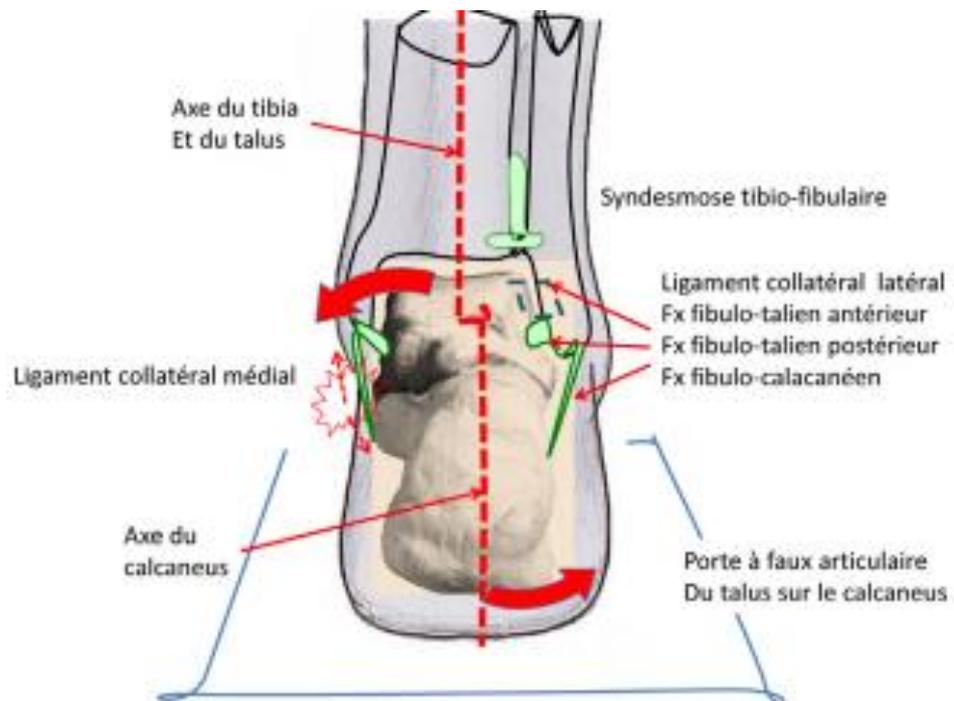


Figure 12 : Anatomie fonctionnelle (Maestro, 2014 (19))

Le but de notre revue de la littérature est d'analyser l'efficacité du renforcement musculaire pour lutter contre les déformations du PPVS. De ce fait, bien que les structures passives soient extrêmement importantes pour cela, nous n'allons pas détailler leur fonctionnement.

1.1.4.2. Muscles impliqués dans le maintien de l'arche longitudinale médiale

1.1.4.2.1. Tibial postérieur

Le TP s'insère à la face postérieure du segment jambier (tibia, fibula et membrane interosseuse) sur le tiers proximal, puis se poursuit dans le compartiment profond de la jambe, son tendon passant juste en arrière de la malléole médiale. Il se termine sur la tubérosité du naviculaire ainsi que sur tous les os du tarse, à l'exception du talus et des métatarses extrêmes (Fig.13 et Fig.14). Ses actions sont la FP et l'inversion de l'arrière-pied (Fig.15) (18). Par ses expansions, il participe au maintien de la voûte plantaire (17).

▶ 4-189

Trajet du TP.

1. Tête du talus
2. Malléole médiale
3. LFO
4. TP
5. LFH
6. Naviculaire

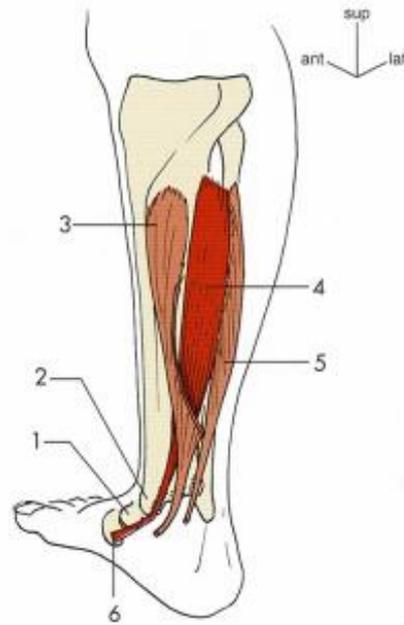


Figure 13: Trajet du TP (Dufour, 2015 (18))

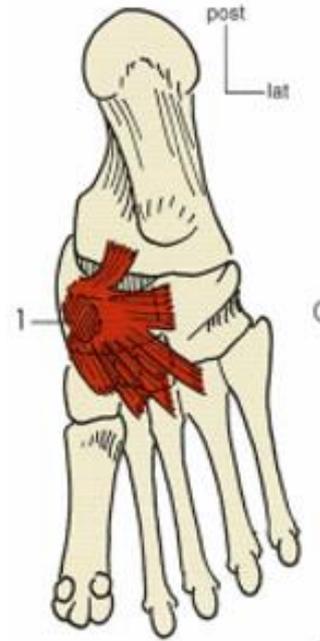


Figure 14 : Terminaison du TP sur le naviculaire et ses expansions (Dufour, 2015 (18))

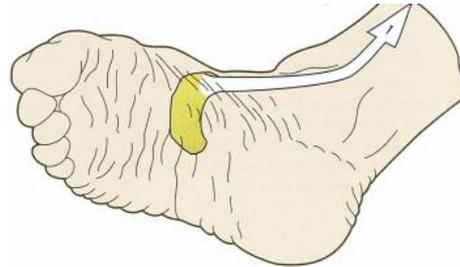


Figure 15 : Actions du TP (Kapandji, 2007 (17))

Le TP joue un rôle dans le maintien de l'ALM. Il est un support actif de l'articulation talo-naviculaire : lors de sa contraction, il produit une adduction et une FP du naviculaire par rapport au talus (Fig.16), ce qui élève l'arche (40). Il participe au décollement du talon et permet l'inversion de l'arrière-pied. Après le contact au sol, la RM du tibia et de la subtalaire font glisser la tête du talus médialement. La contraction excentrique du TP résiste au valgus de l'arrière-pied en plaquant la tête du talus vers le haut et le dehors, limitant ainsi l'affaissement de l'ALM. Le TP est inactif pendant la phase d'oscillation et en station debout statique. Cependant, l'arche est normalement maintenue dans ces situations. Le TP a longtemps été considéré

comme le muscle le plus important pour le maintien de l'ALM, mais cette dernière observation prouve qu'il ne peut pas être le seul support. Certaines études ont montré que lors d'une lésion myo-aponévrotique de ce muscle, un affaissement de l'ALM est retrouvé, cependant d'autres études ont montré que la section transversale du TP seule ne crée pas une déformation en pied plat (29).



Figure 16 : Actions du TP (Kapandji, 2007 (17))

1.1.4.2.2. Long fibulaire

Le long fibulaire (LF) prend son origine sur la fibula et se termine sur la base du premier métatarsien (face plantaire) et déborde sur le premier cunéiforme et la capsule de l'articulation unissant ces deux os. Ce muscle se réfléchit contre le cuboïde pour se diriger ensuite en avant et en dedans, croisant ainsi la face plantaire du pied (Fig.17) (18).

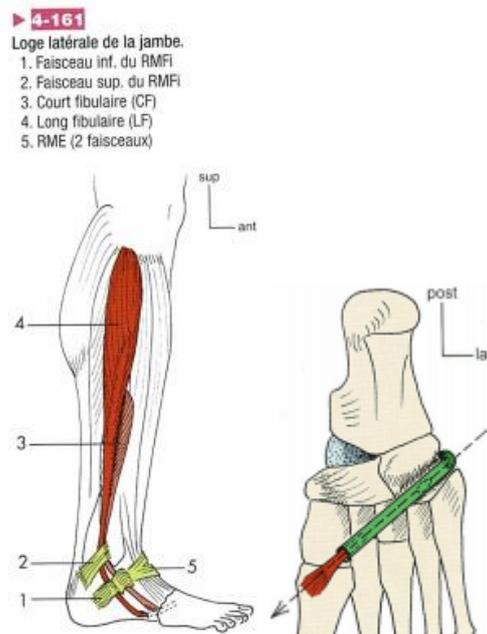


Figure 17 : Trajet du LF (Dufour, 2015 (18))

Par son trajet, le LF a un rôle de soutien de l'ALM, mais aussi de l'arche transversale antérieure. Ses insertions distales lui permettent de fléchir le premier métatarsien sur le premier cunéiforme et le premier cunéiforme sur le naviculaire (Fig.18). Cette flexion augmente la concavité inférieure de l'ALM (17).



Figure 18 : Actions du LF (Kapandji, 2007 (17))

1.1.4.2.3. Long fléchisseur de l'hallux

Le long fléchisseur de l'hallux (LFH) s'insère sur la face postérieure de la fibula et se termine sur la deuxième phalange de l'hallux. Il passe entre les deux tubérosités postérieures du talus puis se réfléchit au niveau du calcaneus (18). Il parcourt l'ALM dans toute sa longueur, et a ainsi un rôle dans le maintien de sa concavité inférieure (Fig.19) (17).

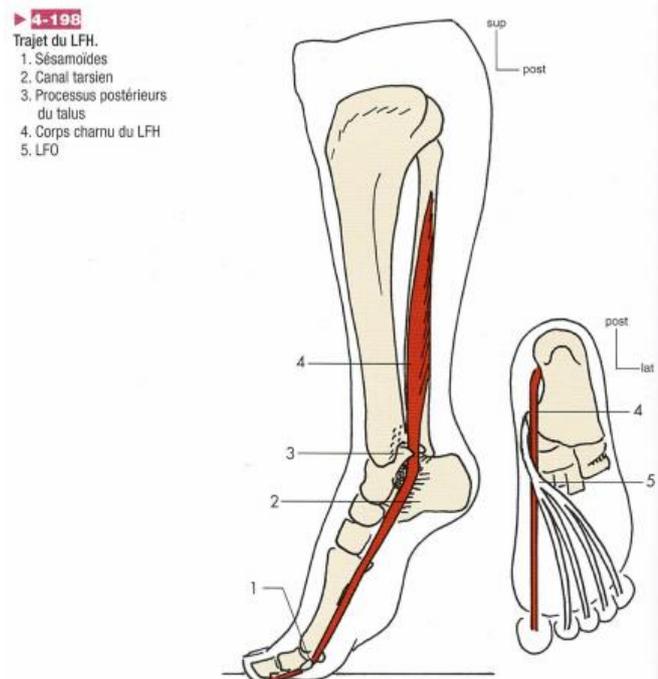


Figure 19 : Trajet du LFH (Dufour, 2015 (18))

1.1.4.2.4. Muscles extenseurs des orteils

Les muscles extenseurs des orteils sont composés du long extenseur (LEO) (muscle extrinsèque (MEP)) et du court extenseur (CEO) (muscle intrinsèque (MIP)). Une extension des orteils tend l'aponévrose plantaire qui s'insère sur la tubérosité du calcanéus et se termine sur les phalanges proximales des orteils (Fig.10) (18). Cette mise en tension crée une flexion et une adduction des métatarsiens avec une supination de l'avant-pied (41) ainsi qu'une varisation du calcanéus par rapport au talus au niveau de l'articulation subtalaire. Cela engendre une élévation de l'ALM ainsi qu'un raccourcissement du pied. Ce mécanisme est appelé le « windlass mechanism » (42).

1.1.4.2.5. Muscles intrinsèques plantaires

Les MIP peuvent être divisés en quatre couches de la superficie à la profondeur (Fig.) (43) :

- 1^{ère} couche : abducteur de l'hallux (ABDH) (1), CFO (2), abducteur du V (3),
- 2^{ème} couche : carré plantaire (4), lombricaux (5),
- 3^{ème} couche : court fléchisseur du 5 (6), adducteur de l'hallux (ADDH) (7a et 7b), court fléchisseur de l'hallux (CFH) (8), interosseux plantaires (9),
- 4^{ème} couche : interosseux dorsaux (10), CFO (11).

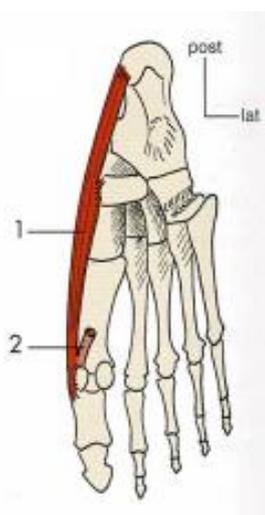


Figure 20 : Représentation des 4 couches des MIP (McKeon et al.(44))

L'ALM s'affaisse en charge, c'est à dire qu'elle s'allonge et s'abaisse (17). L'étude de Kelly *et al.* montre que la stimulation électrique des MIP atténue les déformations de l'ALM sous la charge. De plus, l'activité musculaire augmente avec un accroissement de la charge (41). Il a aussi été démontré que la fatigue (45) et l'anesthésie (46) des MIP augmentent la chute du naviculaire. Ces muscles permettent donc de diminuer l'affaissement de l'ALM en charge et en statique (41,45). L'ABDH semble par conséquent particulièrement important (17).

L'ABDH (1 sur la figure 21) est un MIP qui prend son origine à la face inférieure du calcaneus et se termine sur la face plantaire de la première phalange de l'hallux, ainsi que sur le sésamoïde médial et sur la capsule articulaire unissant M1 à la première phalange de l'hallux (Fig.21) (18). L'ABDH suit l'ALM dans toute sa longueur et participe à son élévation (17).

L'ABDH permet de lutter contre l'affaissement de la voûte plantaire en charge. Sur la figure 22, les axes gris représentent la position des segments du pied en charge. Il s'agit du même positionnement que celui des pieds PPVS. Les axes rouges représentent les mouvements réalisés par l'ABDH : (a) extension du calcaneus et flexion des métatarsiens dans le plan sagittal, (b) abduction du calcaneus et adduction des métatarsiens dans le plan horizontal et (c) inversion du calcaneus dans le plan frontal (41). La combinaison de ces mouvements est à l'origine d'une réduction de la longueur de l'arche et d'une augmentation de sa hauteur. L'étude de Jung *et al.* montre que lorsque l'activité de l'ABDH augmente, l'ALM s'élève (47).



Légende :
1. ABDH
2. Tendon du CFH

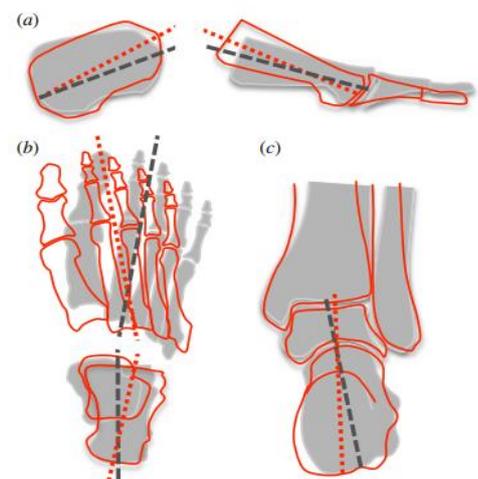


Figure 22 : Actions de l'ABDH (Kelly, 2014 (40))

Figure 21 : Représentation de l'ABDH (Dufour, 2015 (18))

1.2. Impacts de la grossesse sur les pieds et les chevilles

Une forte prévalence de PPVS est observée pendant la grossesse et jusqu'à la dix-neuvième semaine postpartum (6). L'affaissement de la voûte plantaire augmente au fur et à mesure de l'avancée de la grossesse (10). Plusieurs études supposent que l'apparition de PPVS pendant la gestation pourrait être due à l'augmentation du poids corporel et de la laxité ligamentaire (1-5).

1.2.1. Augmentation pondérale

Tout au long de la grossesse, les femmes gagnent en moyenne 10 à 12 kg (soit 20% du poids de leur corps). Ce gain de poids provient majoritairement de la croissance de l'utérus, du placenta, du volume sanguin supplémentaire, du fœtus et de la poitrine (48). Quelles en sont les conséquences sur les pieds ?

1.2.1.1. Forme du pied en charge et conséquences d'une augmentation pondérale

En position debout statique, le poids du corps s'applique sur trois points d'appui plantaires. L'articulation talo-crurale transmet les contraintes à la trochlée du talus, qui les répartit entre ces trois points en passant par les trois arches, qui s'écrasent et s'allongent sous la charge (17). Le positionnement des segments du pied en charge est le même que celui d'un pied plat valgus (valgus de l'arrière-pied, abduction et supination de l'avant-pied), entraînant une augmentation de la longueur de l'ALM et une diminution de sa hauteur (41). Associé à l'allongement et à l'écrasement des arches plantaires, une cassure-torsion est observée au niveau de l'articulation médio-tarsienne (17). Si la charge augmente, l'ALM s'allonge et s'abaisse davantage (41). Cette arche est principalement touchée par un accroissement de masse (42). Plusieurs études réalisées sur différentes populations prouvent que l'augmentation de l'IMC est significativement corrélée à la diminution de hauteur de l'ALM (49,50) et à l'apparition de PPVS (13). La notion de « durée de port de charge » est importante à prendre en compte également. Le port d'une charge importante pendant une longue période telle que la grossesse favorise la déformation en pieds plats valgus (13).

1.2.1.2. Autres raisons de l'apparition de pieds plats valgus souples

La voûte plantaire des FE s'affaisse de plus en plus au cours de la grossesse (3). Le poids augmente aussi au cours de celle-ci (48) et la durée pendant laquelle les pieds supportent le poids du corps s'allonge (48). Nous pouvons donc supposer que la prise de poids participe à l'apparition de pieds plats valgus pendant la gestation. Cependant, elle ne peut pas être la seule raison des déformations plantaires (4,5).

Dans l'étude de Dunn *et al.*, deux groupes sont créés : un groupe de femmes nullipares et un groupe de femmes ayant été enceintes au moins une fois il y a plus de dix ans. Ces deux groupes ont ensuite été stratifiés en fonction de leur IMC : un groupe obèse et un groupe non obèse. Une augmentation significativement plus importante de la pointure au cours du temps est observée chez les femmes ayant été enceintes et obèses par rapport à celle des femmes nullipares non obèses. Dunn *et al.* expliquent que l'affaissement des arches plantaires engendre une augmentation de la pointure. Si une augmentation de pointure est observée, ils supposent que les arches se sont affaissées. L'association d'une ou plusieurs grossesse(s) et de l'obésité favorise donc l'apparition de pieds plats persistants sur le long terme. Les femmes nulligestes obèses présentent un affaissement des arches également, mais moins que les femmes ayant été enceintes il y a plus de dix ans (5).

Pour Dunn *et al.* les différences entre les femmes ayant été enceintes et les nullipares montrent que d'autres facteurs que le poids entrent en jeu dans les changements anthropométriques des pieds. Ils supposent que les modifications endocriniennes, accroissant la laxité tissulaire pendant la grossesse, jouent un rôle important (5).

1.2.2. Augmentation de la laxité articulaire

1.2.2.1. Lien entre l'augmentation de la laxité articulaire et l'affaissement de la voûte plantaire

Nous avons précédemment vu que la forme du pied change en charge. Les éléments de soutien de la voûte plantaire ont pour rôle de limiter ces modifications pour qu'elles restent physiologiques. S'il y a une dysfonction de ces éléments comme une hyperlaxité, des déformations plantaires seront observables telles que des PPVS (17). Pendant la grossesse,

une augmentation physiologique de la laxité des articulations périphériques est observée, notamment au niveau des genoux (51), des doigts (52–55), du coude (55) et du poignet (56). L'affaissement de l'ALM s'accroît avec l'avancée de la grossesse (10). Parallèlement, la laxité augmente elle aussi pour atteindre son maximum au 3^{ème} trimestre de grossesse (52). Elle est conservée sans retour aux valeurs de base au bout de six semaines après l'accouchement (55,56). Son évolution n'est pas uniforme suivant les structures (51).

Pendant la gestation, les ALM des femmes multipares perdent moins de hauteur que celles des primigestes (6,11). Comment expliquer cela ? D'une part, l'accroissement de la laxité est moins important chez les femmes multipares (53). D'autre part, la marge de progression des déformations plantaires des femmes multipares est réduite, car elles présentent un affaissement de la voûte plantaire plus important que les primipares au début de la grossesse dans la majorité des cas (5,6).

1.2.2.2. Hormones responsables de l'augmentation de la laxité articulaire

La grossesse implique un véritable bouleversement endocrinien. A partir du moment où la fécondation a lieu, les hormones permettant les adaptations nécessaires à la grossesse vont être sécrétées. Elles préparent l'utérus à recevoir l'embryon, puis à le maintenir, elles assurent le développement des glandes mammaires et la préparation de la lactation (48). En plus de ces effets bien connus, d'autres peuvent être observés, notamment l'augmentation de la laxité articulaire, essentielle pour l'accouchement (48). En effet, celle-ci permet aux articulations pelviennes de s'écarter lors du passage du bébé (48,55). L'augmentation de la laxité est également impliquée dans les changements observés au niveau des pieds des FE (1,2). La relaxine, l'œstrogène, la progestérone et le cortisol, présentes en quantité plus importante pendant cette période, sont suspectées de jouer un rôle dans cette modification (55–57). Les études de Schauburger *et al.*, de Pokorny *et al.* et de Marnach *et al.* n'ont pas pu démontrer de lien entre le taux sanguin de ces hormones et la laxité articulaire périphérique (55–57). Cependant, l'action de la relaxine, des œstrogènes et de la progestérone sur le système musculo-squelettique est bien connu (58).

1.2.2.2.1. Relaxine

Il existe quatre types de relaxine, deux agissant sur le système musculo-squelettique. Les récepteurs de cette hormone sont largement distribués dans l'organisme. La relaxine joue un rôle essentiel dans certains processus biologiques tels que le métabolisme, la croissance, la grossesse et l'accouchement. Elle est impliquée dans le remodelage des cartilages, des ligaments, des muscles et des tendons en diminuant la synthèse du collagène et en stimulant sa dégradation par l'activation de collagénases. Les tissus conjonctifs sont ainsi assouplis (58). La relaxine est sécrétée par le corps jaune et l'endomètre pendant la phase de décidualisation puis par le placenta pendant les phases finales de la grossesse. Le niveau de relaxine est dix fois plus important lors de la grossesse et après l'accouchement, avec un maximum entre les 38^e et 42^e semaines d'aménorrhée (SA) (59). La relaxine est particulièrement importante lorsque la grossesse arrive à terme car elle assouplit et détend le myomètre, les ligaments pelviens et la symphyse pubienne et elle ramollit le col utérin, facilitant ainsi l'accouchement (55).

1.2.2.2.2. Œstrogènes et progestérone

Des récepteurs aux œstrogènes sont présents au niveau des tendons et des ligaments. Lorsqu'elles s'y lient, les œstrogènes influencent leur structure et leurs propriétés biomécaniques. Plusieurs études ont permis de démontrer que la laxité des tendons augmente lors d'un pic de sécrétion d'œstrogènes. Cela est dû au fait que cette hormone permet une synthèse de collagène favorisant ainsi son turn-over (60).

Bien que son effet sur les tendons et les ligaments soit moins étudié, la progestérone semble aussi augmenter la laxité articulaire. Cela est cependant difficile à mettre en avant car les études évaluent souvent l'action conjuguée des œstrogènes et de la progestérone (57).

1.2.3. Conclusion des impacts de la grossesse sur la forme des pieds

L'application du poids du corps sur le pied écrase et allonge les trois arches (17). Les éléments de soutien de la voûte plantaire, dont le rôle est de limiter ces modifications, vont être assouplis par des hormones et de ce fait moins bien remplir leur rôle. L'accroissement de la laxité des éléments de soutien, associé au gain de poids, vont majorer l'affaissement de la

voûte plantaire. Ainsi, des déformations plantaires seront observables tels que des PPVS (1–3,6).

Plusieurs études soulèvent qu'en plus de ces modifications, il existe une augmentation du volume des pieds des FE (3,10,11). C'est un élément qu'il faudra prendre en compte dans l'élaboration du protocole.

La postériorisation du centre de pression est également citée par Ramachandra *et al.* et Segal *et al.* comme étant l'une des causes possibles des changements plantaires, mais le lien n'est pas décrit (6,7).

2.MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1. Stratégie de recherche documentaire

Les recherches bibliographiques ont été menées entre novembre 2019 et avril 2020, interrogeant les bases de données Medline, Cochrane Library, PEDro et Science Direct ainsi que le moteur de recherche Google Scholar. De plus, certaines références proviennent des bibliographies d'articles.

La finalité de ce mémoire est de proposer un protocole de prévention de l'affaissement de l'ALM chez les FE. La lecture d'études indiquant que des PPVS apparaissent au cours de la grossesse a été le point de départ de cette réflexion. Afin de trouver ces études, les mots de recherches utilisés proviennent du thésaurus MeSH pour Medline et la Cochrane Library. Les mots se rapportant aux pieds plats sont les mêmes que ceux utilisés pour la revue de la littérature. Pour Science Direct et PEDro, des recherches simples par mots de recherche ont été effectuées. Concernant Google Scholar, la simple équation de recherche : « flatfeet AND pregnancy » a été utilisée. Pour chacun des thèmes de ce mémoire, la même stratégie de recherche a été mise en place. Pour la discussion et l'introduction, des ouvrages ont été utilisés en plus. Nous allons détailler la stratégie utilisée pour la revue de la littérature.

Le but de cette revue de la littérature est d'analyser les études évaluant l'efficacité d'exercices de renforcement musculaire contre l'affaissement de l'ALM en position statique, qui est la déformation du PPVS la plus étudiée dans la littérature.

Pour les bases de données Medline et la Cochrane Library, les termes de recherche utilisés sont issus du thesaurus MeSH. Concernant les pieds plats, les termes suivants ont été retenus : *flatfoot*, *flat foot*, *flat feet*, *flatfeet* et *pes planus*. Pour exclure le matériel orthopédique, ces termes ont été choisis : *orthoped** et *orthos*. Enfin, pour exclure les interventions chirurgicales, ces termes ont été sélectionnés : *surgical*, *surgery*, *operative*, *operation* et *invasive*. Lors de la lecture des titres, certains termes faisant référence à des pathologies neurologiques n'entrant pas dans le cadre de ce mémoire ont été retrouvés plusieurs fois. Pour cette raison, nous avons aussi exclu les termes suivants : *sclerosis*, *stroke*, *neuropath**, *myopath**, *spastic* et *charcot*. Les équations de recherche découlant de cela pour Medline et la Cochrane Library sont présentes en annexe (ANNEXE III). Le nombre de termes étant limités dans la base de données de la Cochrane Library, tous les termes n'ont pas été utilisés, contrairement à l'équation utilisée pour Medline. Les variations des mots entrés sont recherchées.

Les équations utilisées pour interroger Science Direct sont aussi présentées en annexe (ANNEXE III). Sur la base de données PEDro, des recherches simples par mots clés ont été réalisées. Les mots clés suivants ont été choisis : *flatfeet*, *flat feet*, *flatfoot*, *flat foot*, *pes planus* et *foot drop*. Sur Google Scholar, la recherche « flatfeet and muscle » a été effectuée.

Les filtres suivants ont été appliqués :

- Recherche des articles datant de 5 ans au maximum pour le respect des critères « Evidence Based Practice » (EBP),
- Les langues sélectionnées sont : anglais, français et allemand,
- « Humans » a été coché sur Medline afin d'éliminer les articles concernant les animaux.

2.2. Méthode

Des critères d'inclusion et d'exclusion ont été définis afin de sélectionner les articles répondant à notre problématique (Tab. I).

Tableau I : Critères d'inclusion et d'exclusion

	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Langues	Anglais, français ou allemand	Toute autre langue
Type de document	Ouvrages Articles de revues scientifiques Revue systématique de la littérature Méta-analyses Etudes de cohorte Guides de bonne pratique Etudes descriptives transversales Thèses	Mémoires
Titre	Répondant au sujet	Ne répondant pas au sujet
Résumé	Avec mots clés	Sans mots clés
Pathologie	Pied plat valgus ou affaissement de l'ALM sans pathologie neurologique affectant le pied ajoutée. Les articles étudiant des populations sans déformations plantaires.	Pathologies neurologiques affectant le pied.
Population	Adultes	Enfants. Personnes âgées.
Traitement	Traitement conservateur de renforcement musculaire	Traitement chirurgical. Traitement par utilisation de matériel orthopédique. Utilisation de chaussures minimalistes. Etudes évaluant l'efficacité du renforcement musculaire associé à un autre traitement sans faire de distinction. Etudes évaluant le rôle des muscles ou du fascia plantaire sans évaluer l'efficacité d'un renforcement musculaire. Etudes comparant l'efficacité d'un renforcement avec stimulation neuromusculaire à celles sans stimulation neuromusculaire. Etudes utilisant l'électrostimulation comme moyen de renforcement musculaire.
Critères évalués	Paramètres statiques. L'évaluation de la morphologie de l'ALM mesurée par le biais de la chute du naviculaire (ND test), la surface de contact du pied au sol. L'évaluation de la posture du pied générale (évaluée par le « Foot Posture Index » (FPI))	Etudes évaluant seulement la surface de coupe des muscles, la force musculaire des intrinsèques ou des extrinsèques, n'évaluant pas directement l'affaissement de l'ALM ou la posture du pied. Etudes ne s'intéressant qu'à des critères dynamiques.

Pour analyser les articles retenus, nous nous sommes inspirés de la grille de lecture donnée par l'IFMK (ANNEXE IV). Les grilles complétées sont présentées en annexe (ANNEXE V) ainsi qu'un tableau résumant chaque étude (ANNEXE VI). Les lignes directrices promues par le réseau EQUATOR (« *Enhancing the QUALity and Transparency Of health Research* »)

ont permis d'évaluer la qualité des articles, en utilisant les lignes de contrôle correspondant au type d'étude examinée. Cette analyse permet de mettre en évidence les biais présents dans les articles, leur pertinence et leur validité scientifique. Un niveau de preuve et un grade selon la Haute Autorité de Santé (HAS) ont ensuite été attribués à chaque article.

3. RÉSULTATS

3.1. Résultats des recherches

A partir de ces recherches, 680 articles ont été obtenus sur les bases de données, 3 370 sur Google Scholar et trois à partir des bibliographies d'articles. Pour trier ces résultats, nous avons suivi la méthode présentée dans le « Guide d'analyse de la littérature et gradation des recommandations » de l'ANAES publié le 1^{er} janvier 2000 : le premier tri est effectué par lecture des titres, le second par lecture des résumés et enfin, le dernier par lecture de l'intégralité de l'article (61). Pour sélectionner les articles, les critères d'inclusion et d'exclusion ont été utilisés (Tab. I). Vingt-cinq articles ont été retenus après lecture de leur titre et élimination des doublons. Parmi ces articles retenus, un article a été exclu, car il n'a pas été trouvé dans son intégralité. Douze autres articles ont été exclus après lecture de leur résumé. Douze articles ont donc été évalués dans leur intégralité et onze ont été inclus dans la synthèse qualitative. Pour réaliser le diagramme de flux (Fig.23), nous nous sommes inspirés du diagramme de flux présenté par PRISMA (« *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and MetaAnalyses* ») (62). Ce diagramme de flux reprend les étapes suivies pour trier les résultats obtenus.

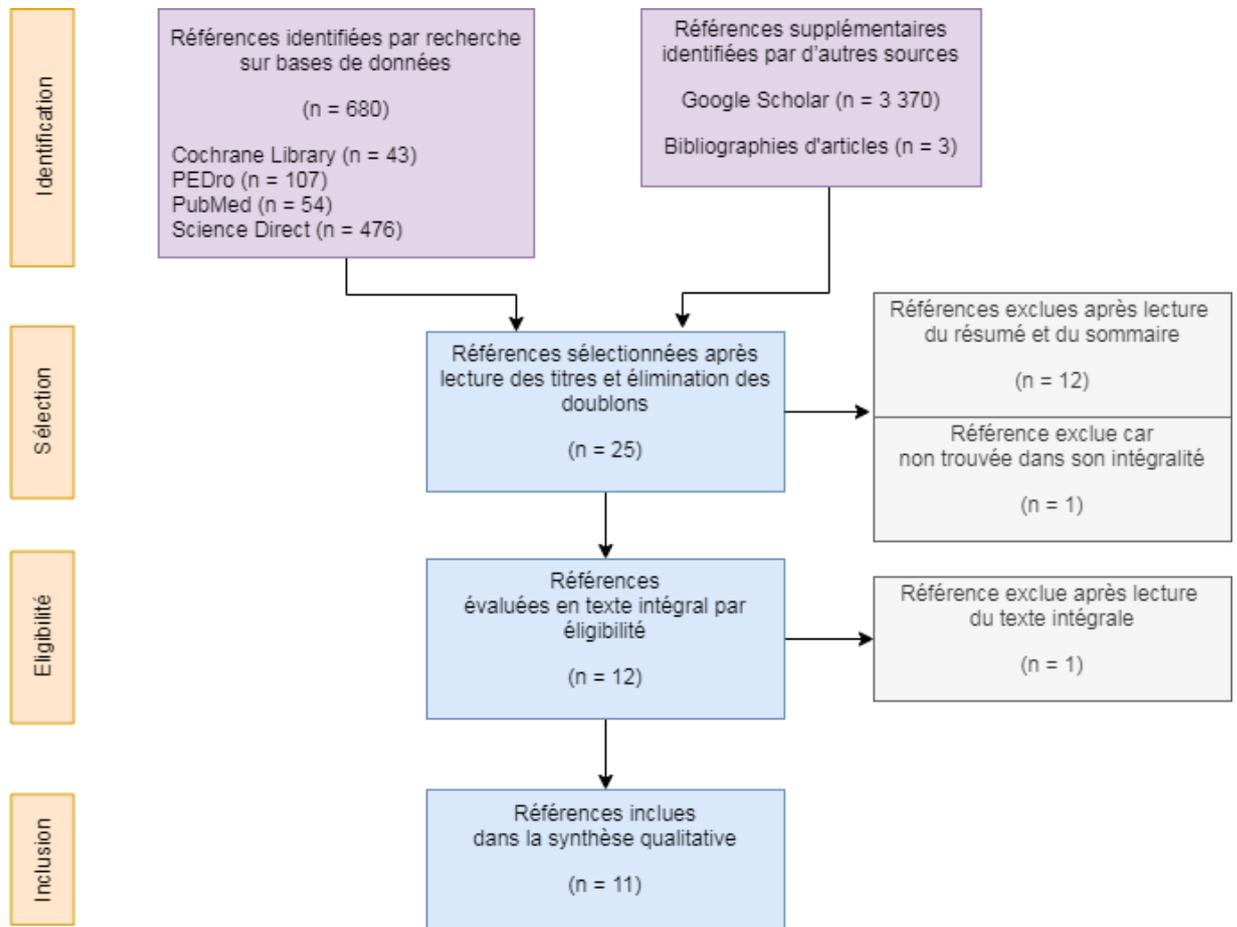


Figure 23 : Diagramme de flux présentant la sélection des articles

Les références incluses comprennent six essais contrôlés randomisés (ECR), trois essais contrôlés non randomisés (ECNR) et deux séries de cas. La nature des articles sélectionnés est représentée par la figure 24 (Fig.24). Celle-ci permet d'attribuer un niveau de preuve et une gradation selon la HAS, qui seront réévalués en fonction des risques de biais. La figure 25 (Fig.25) présente un graphique illustrant le niveau de preuve des études incluses. Le niveau de preuve moyen est 2,45. Les risques de biais des études ont été déterminés comme expliqué dans la partie « Méthode ». Le tableau II synthétise les risques de biais des articles sélectionnés. Nous l'avons réalisé en nous inspirant du « *Risk of bias tool for randomized trials* » (RoB2) de la Cochrane Collaboration (63).

NATURE DES RÉFÉRENCES

■ Essais contrôlés randomisés ■ Essais contrôlés non randomisés
■ Séries de cas

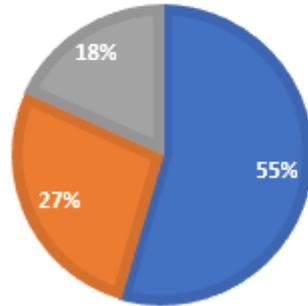


Figure 25 : Graphique représentant la nature des articles inclus

NIVEAU DE PREUVE

■ Niveau de preuve 1 ■ Niveau de preuve 2
■ Niveau de preuve 3 ■ Niveau de preuve 4

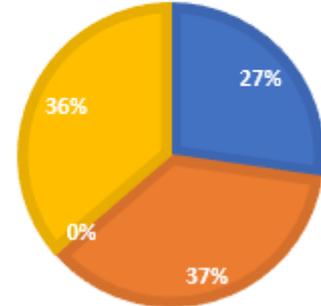


Figure 24 : Graphique représentant le niveau de preuve des articles inclus

Tableau II : Synthèse des risques de biais des articles inclus

N°	Auteurs et années	Biais de sélection	Biais de performance	Biais de détection	Biais d'attrition	Biais de réalisation	Biais d'évaluation	Biais expérimentaux	Biais de confusion
1	Augustina 2019	●	●	●	●	●	●	●	●
2	Alam 2019	●	●	?	●	●	●	●	●
3	Goo 2016 (1)	●	?	?	?	●	●	●	●
4	Goo 2016 (2)	●	?	?	?	●	●	●	●
5	Hashimoto 2014	●	?	?	?	●	●	●	●
6	Okamura 2020	●	?	?	●	●	●	●	●
7	Shiroshita 2019	●	?	?	●	●	●	●	●
8	Sulowska 2016	●	●	?	●	●	●	●	●
9	Unver 2019	●	?	?	?	●	●	●	●
10	Mulchandani 2017	●	?	?	●	●	●	●	●
11	Ramachandra 2019	●	●	●	●	●	●	●	●

● faible risque de biais ● risque de biais modéré ● haut risque de biais
? aucune information

Légende :

Goo 2016 (1): Goo Y-M, Kim T-H, Lim J-Y. The effects of gluteus maximus and abductor hallucis strengthening exercises for four weeks on navicular drop and lower extremity muscle activity during gait with flatfoot. J Phys Ther Sci. 2016;28(3):911-5.

Goo 2016 (2): Goo Y-M, Kim D-Y, Kim T-H. The effects of hip external rotator exercises and toe-spread exercises on lower extremity muscle activities during stair-walking in subjects with pronated foot. J Phys Ther Sci. 2016;28(3):816-9.

3.2. Synthèse des résultats

Les références incluses dans la revue de la littérature évaluent l'efficacité du renforcement musculaire pour prévenir ou lutter contre l'affaissement de l'ALM en position statique. Nous ne nous intéressons donc qu'aux critères de jugement statiques. Certaines études s'intéressent aux MIP, d'autres aux MEP ou aux muscles des hanches. Les outils d'évaluation utilisés sont décrits en annexe VII (ANNEXE VII). Nous commencerons par décrire les exercices de renforcement des MIP puis nous nous intéresserons à l'efficacité de chacune des techniques proposées.

3.2.1. Description des exercices de renforcement des MIP

3.2.1.1. Toe gripping

Le « *Toe gripping* » consiste en une flexion de tous les orteils contre résistance. Les muscles impliqués dans cet exercice sont le CFO, le long fléchisseur des orteils (LFO) et les muscles lombricaux plantaires (64). Pour utiliser davantage les MIP que les MEP, il est possible de placer la cheville en FP maximale, comme dans l'étude d'Hashimoto *et al.* (65).

3.2.1.2. Towel Curl Exercise

Pour réaliser le « *Towel Curl Exercise* » (TCE), le patient est assis, talons placés sous les genoux, pieds parallèles, posés sur une serviette. Il doit décoller l'avant-pied tout en gardant le talon au sol (A) puis réaliser une FD des orteils (B) (Fig.26). Ensuite, il faut agripper la serviette avec les orteils comme pour la rapprocher du talon (C), puis recommencer (14,66). Alam *et al.* proposent une progression : l'exercice est d'abord réalisé assis, puis debout en

appui bipodal, puis en appui unipodal (66). Dans l'étude de Shiroshita *et al.*, l'exercice est décrit différemment : il est demandé au patient de ne pas décoller l'avant-pied et de bien garder la tête des métatarsiens ainsi que le talon en contact avec le sol (B puis C sur la figure 26) (67).

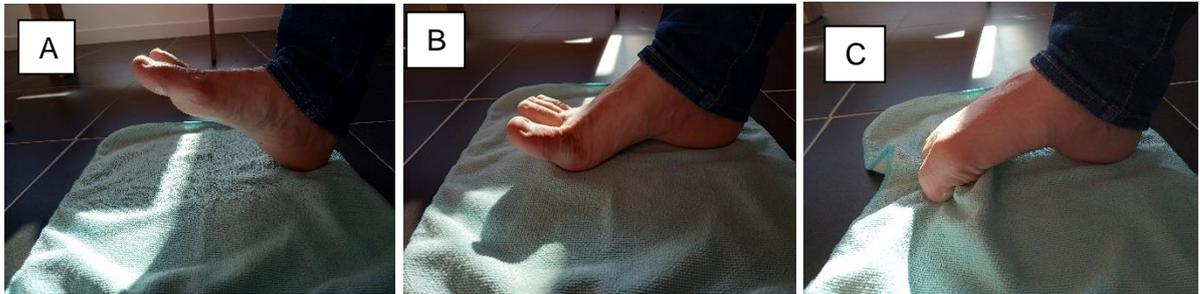


Figure 26 : Photographies illustrant le TCE

Les mouvements impliqués dans cet exercice supposent que le LFO, le CFO, le LFH, le CFH et les muscles lombricaux plantaires se contractent lors de la dernière étape (C sur la figure 26), commune aux différentes descriptions. Ces muscles jouent un rôle dans le maintien de l'ALM.

3.2.1.3. Flexion dorsale de l'hallux

L'exercice du « *Big toe raises* » (élévations de l'hallux), proposé dans l'étude de Ramachandra *et al.*, demande simplement une répétition de FD de l'articulation métatarso-phalangienne de l'hallux, le pied au sol en position assise (Fig.27) (68). Réalisé ainsi, cet exercice active le CFO, l'ABDH et l'abducteur du V. Le CFO se contracte pour que les quatre derniers orteils restent en contact avec le sol alors que l'hallux est en FD. L'ABDH permet de conserver le contact de la tête de M1 avec le sol et de stabiliser l'hallux (69).



Figure 27 : Photographies du « *Big toe raises* »

Le « *Great Toe Exercise* » (GTE) est effectué en position assise avec 3 kg placés sur l'extrémité distale du segment crural. L'hallux est positionné sur une plateforme de 5 cm de haut. Il est demandé aux sujets de décoller le talon et l'hallux, donc une FP de cheville et une FD de l'articulation métatarso-phalangienne de l'hallux. Les autres orteils doivent bouger le moins possible (67). Le fascia plantaire est davantage mis en tension par cet exercice que par le précédent, par l'ajout d'une tension sur le tendon du triceps sural (70). La FP de cheville a pour résultat un recrutement plus important des MIP que des MEP.



Figure 28 : Photographies du GTE

3.2.1.4. Flexion dorsale des 4 derniers orteils

Dans l'étude de Ramachandra *et al.* il est demandé aux patientes de fléchir dorsalement les quatre derniers orteils (sans l'hallux) en position debout (Fig.29) (68). Avec l'IRM T2, il a été observé que l'exercice réalisé ainsi active les interosseux, lombricaux, l'abducteur du V, le CFH et l'ADDH. Le CFH et l'ADDH permettent de maintenir l'hallux en contact avec le sol, alors que les quatre derniers orteils sont en FD (69).



Figure 29 : Photographie de l'extension des quatre derniers orteils sans mouvement de l'hallux

Le « *Lesser Toe Exercise* » (LTE) se fait dans la même position que le GTE, cependant la plateforme n'est plus placée sous l'hallux, mais sous les quatre derniers orteils. Le sujet doit soit élever le talon et les quatre derniers orteils, soit faire une FP de cheville et une FD des articulations métatarso-phalangiennes des quatre derniers orteils. L'hallux doit rester immobile (Fig.30) (67). La FP de cheville augmente la tension dans le fascia plantaire à travers une augmentation de la tension du tendon du triceps sural (70). La FP favorise ainsi l'action des muscles extenseurs intrinsèques (CEO) plutôt que celle des extrinsèques (LEO).



Figure 30 : Photographie du LTE

3.2.1.5. Toe Spread

L'exercice « *Toe Spread* » (TS) s'effectue assis, les pieds au sol (A). La consigne est de fléchir dorsalement et d'écarter les orteils tout en gardant l'avant-pied et le talon au sol (B). Ensuite, il faut fléchir l'hallux et le 5^e orteil (C1 et C2), puis revenir à la position de base (A) (Fig.31) (69). Cet exercice active l'ABDH (47,69).



Figure 31 : Photographie du TS

3.2.1.6. Short Foot Exercise

Le « *Short Foot Exercise* » (SFE) nécessite une contraction volontaire des muscles fléchisseurs intrinsèques plantaires isolément des extrinsèques (43). Le patient est en position assise, les talons placés à l'aplomb des genoux. La consigne est de raccourcir le pied en rapprochant l'avant-pied du talon, et ainsi élever l'ALM. Le talon doit rester en contact avec le sol et les orteils ne doivent pas fléchir (Fig.32) (43,68,71). Plusieurs auteurs proposent une progression de l'exercice en demandant aux sujets de le réaliser debout en appui bipodal (68,71), puis en appui unipodal (72) et en demi-squat (73). Dans leur étude, Sulowska *et al.* donnent la consigne aux sujets de réaliser l'exercice en deux étapes dans chacune des positions : d'abord raccourcir le pied, puis déplacer l'appui plantaire sur les trois points d'appui (73).



Figure 32 : Photographies du SFE

Le carré plantaire, l'abducteur du V (69) l'adducteur de l'hallux (ADDH) (74) et l'ABDH (47,69,74) sont recrutés. L'activité musculaire de l'ABDH est significativement plus importante lorsque le SFE est réalisé en unipodal, en comparaison à sa réalisation en position assise (47). L'étude de Jung *et al.* montre que cet exercice augmente la surface de section de l'ABDH (75).

3.2.1.7. Vele's Forward Lean

Le sujet est debout en appui bipodal, avec les pieds nus espacés de la largeur des épaules et les bras le long du corps. La consigne est d'amener le poids du corps vers l'avant

au maximum sans fléchir le tronc, ni lever les talons. La position du pied doit être maintenue raccourcie, telle que décrite dans le SFE, pour activer les MIP (73).

3.2.1.8. Reverse Tandem Gait

La consigne est de marcher à reculons pieds nus tout en maintenant les pieds en position raccourcie, pour les mêmes raisons que précédemment. Cet exercice permet de jouer sur les différents appuis plantaires tout en maintenant la contraction des MIP : le poids va d'abord s'appliquer sur la tête des métatarsiens, puis sur le talon et lors du passage du MI controlatéral, l'appui va se déplacer au niveau du talon (73).

3.2.2. Efficacité des techniques proposées

3.2.2.1. Efficacité du « Short Foot Exercise »

Parmi les articles sélectionnés pour la revue de la littérature, deux étudient l'effet du SFE sur la forme du PPVS (71,72) et un sur la forme du pied sans déformations (73).

Okamura *et al.* cherchent à déterminer les effets du SFE chez des sujets ayant des pieds plats. Pour cela, ils comparent les critères de jugement entre un groupe ne réalisant pas d'exercice (GT) et un groupe effectuant le SFE trois fois par semaine pendant huit semaines (GE). Une amélioration significative des valeurs du « *Navicular Drop test* » (ND test) est observée dans les deux groupes après huit semaines. Concernant l'alignement statique du pied, aucune différence n'est constatée entre le GT et le GE, exceptée une amélioration significative de l'item d'inversion/éversion du calcaneus du FPI-6 vers la posture neutre dans le GE (71).

Comme Okamura *et al.*, Unver *et al.* étudient l'efficacité du SFE pour corriger la posture statique du PPVS. L'évolution des paramètres d'un GT sans intervention est comparée à celle d'un groupe réalisant le SFE tous les jours pendant six semaines. Le ND test et le FPI ont significativement diminué au bout des six semaines dans le groupe expérimental. Aucune différence significative n'a été observée entre les valeurs de départ et celles prises au bout des six semaines dans le GT (72).

Sulowska *et al.* comparent des paramètres statiques et dynamiques plantaires entre un groupe réalisant le SFE et un groupe réalisant le VFL et le RTG. La population étudiée est composée de coureurs longue distance ne présentant pas de pieds plats. Les exercices sont réalisés quotidiennement pendant six semaines. Dans le groupe réalisant le SFE, ils observent une amélioration significative du critère d'inversion/éversion du calcaneus du test FPI-6 : le calcaneus est amené vers l'inversion, ce qui rapproche la posture du pied de la posture neutre (73).

3.2.2.2. Efficacité du « Toe gripping »

Hashimoto *et al.* étudient les effets du renforcement des muscles fléchisseurs intrinsèques du pied sans déformation plantaire sur la force musculaire, la forme des arches plantaires et certains paramètres dynamiques. Pour cela, ils utilisent l'exercice « *Toe gripping* » en décubitus, genoux en extension et chevilles en FP maximales, contre une résistance de 3 kg. L'exercice est réalisé quotidiennement pendant une période de huit semaines. Les critères de jugement sont mesurés avant et après l'intervention et comparés. Le renforcement des muscles fléchisseurs intrinsèques plantaires améliore significativement tous les critères de jugement. La hauteur de l'ALM n'est pas directement évaluée, les investigateurs mesurent la longueur des arches (65). Kelly *et al.* ont montré qu'une diminution de longueur de l'ALM est associée à son élévation (41). L'ALM étant significativement plus courte après l'intervention comparée à avant, elle s'est donc élevée. Les auteurs font le lien entre l'amélioration des critères de jugement et celle de la force des fléchisseurs intrinsèques plantaires et concluent que le renforcement de ces muscles améliore la fonction de maintien des arches (65).

3.2.2.3. Efficacité du « Toe Curl Exercise »

L'étude d'Alam *et al.* confronte l'efficacité du TCE associé à d'autres techniques, à celle du TCE seul, contre la chute du naviculaire chez des sujets ayant des PPVS. Cette dernière diminue significativement dans les deux groupes après réalisation des exercices. Ce résultat permet de supposer que le TCE entraîne une élévation de l'ALM des PPVS (66).

Shiroshita *et al.* comparent les effets de plusieurs exercices de renforcement des MIP, réalisés pendant cinq semaines, sur la morphologie de l'ALM de sujets ne présentant pas de

pieds plats, dont le TCE. Celui-ci semble générer un affaissement de l'ALM, facilitant le développement de pieds plats, mais il serait intéressant de reconsidérer ce résultat selon les auteurs (67). L'exercice du TCE est réalisé d'une façon différente en comparaison avec les autres études, cela peut probablement, du moins en partie, expliquer la différence de résultat.

3.2.2.4. Efficacité du « Toe Spread »

Goo *et al.* ont réalisé deux études comparant l'efficacité du TS en plus d'autres exercices, à son efficacité réalisé seul, sur plusieurs critères de jugement, dont la chute du naviculaire. Dans tous les groupes de ces deux études, la chute du naviculaire a diminué après l'intervention. Nous pouvons donc émettre l'hypothèse que le TS est efficace pour lutter contre l'affaissement de l'ALM des pieds plats et non plats (76,77).

3.2.2.5. Comparaison de l'efficacité de différents exercices de renforcement des muscles intrinsèques impliquant spécifiquement les orteils

Shiroshita *et al.* étudient la relation entre des exercices impliquant les orteils et les variations morphologiques de l'ALM chez des sujets ne présentant pas de pieds plats. Pour cela, les investigateurs créent quatre groupes, un groupe réalisant le TCE, un autre le GTE, un troisième le LTE et un groupe témoin (GT). La morphologie de l'ALM est observée avant et après les cinq semaines d'intervention. Un affaissement de l'ALM est observé après les cinq semaines dans le groupe ayant réalisé le TCE. Le GTE ne semble pas être efficace sur l'augmentation de la hauteur de l'ALM, contrairement au LTE. Les valeurs du MNDT mesurées après les cinq semaines montrent que l'ALM est significativement plus élevée après l'intervention qu'avant au sein du groupe ayant réalisé cet exercice. Elles le sont aussi en comparaison avec les valeurs du GT (67). Le LTE a donc montré son efficacité dans cette étude.

3.2.2.6. Efficacité du renforcement des intrinsèques lié à d'autres techniques

Les études de Ramachandra *et al.* et d'Augustina *et al.* étudient l'efficacité d'un programme d'exercices sur les paramètres plantaires des FE et leurs dysfonctions. La plupart des exercices impliquent les MIP, mais il n'est pas possible de connaître leur efficacité isolément. Les résultats de ces deux études montrent une diminution significativement plus

importante de la chute du naviculaire, donc une élévation de l'ALM, dans les groupes ayant réalisé les programmes par rapport aux GT. Les programmes proposés sont donc efficaces pour lutter contre l'affaissement de l'ALM pendant la grossesse (14,68).

Les études d'Alam *et al.*, de Mulchandani *et al.* et de Goo *et al.* comparent l'efficacité d'un renforcement des MIP associé à d'autres techniques et celle d'un renforcement des MIP seuls. Toutes ces études montrent une diminution significative de la chute du naviculaire dans les deux groupes après réalisation des exercices, que la population étudiée aient des pieds plats ou non (66,76–78). Nous pouvons donc supposer que les exercices de renforcement musculaire des intrinsèques proposés permettent d'élever l'ALM.

3.2.2.7. Efficacité du « Vele's Forward Lean » et du « Reverse Tandem Gait »

L'étude de Sulowska *et al.* est décrite dans la partie « efficacité du SFE ». Elle étudie aussi l'efficacité des exercices VFL et RTG. Dans le groupe réalisant le VFL et le RTG, une amélioration significative du critère de la palpation du talus dans le test du FPI-6 est observée : la posture du pied est passée d'une position pronatrice vers une position neutre (73).

3.2.2.8. Efficacité du renforcement des extrinsèques pour prévenir ou lutter contre l'affaissement de l'arche longitudinale médiale

Alam *et al.* comparent les effets de l'exercice du TCE seul, avec ceux d'un renforcement analytique du TP associé à l'étirement de l'ilio-psoas (RM de hanche) et au TCE chez de jeunes adultes avec des pieds pronateurs bilatéraux. Les critères de jugement sont la chute du naviculaire, l'équilibre dynamique et l'activité musculaire des MI. La chute du naviculaire a diminué significativement dans les deux groupes et de façon plus importante dans le groupe ayant réalisé le TCE, le renforcement du TP et l'étirement de l'ilio-psoas (66). Etant donné que le groupe expérimental réalise deux techniques de plus que le GT, il n'est pas possible de différencier leur efficacité. Il est seulement possible de dire que l'association du renforcement du TP, de l'étirement de l'ilio-psoas et du TCE est plus efficace que le TCE seul pour élever l'ALM (66). Le renforcement du muscle TP, qui est un MEP jouant un rôle important dans le soutien de l'ALM, semble donc l'élever.

Le programme d'exercices proposé par Augustina *et al.* comprend des exercices impliquant des éléments de soutien de l'ALM dont le TA (tibial antérieur), le TP et le LF en faisant des cercles avec les chevilles (14). Dans l'étude de Ramachandra *et al.*, il est demandé aux participantes de réaliser des mouvements d'inversion et d'éversion de cheville, renforçant ainsi le TA et le TP (68). Dans les deux études, l'efficacité de ces exercices isolément ne peut pas être déterminée, cependant les résultats des études montrent que les programmes sont efficaces pour augmenter la hauteur de l'ALM chez des femmes primigestes (14,68).

3.2.2.9. Efficacité du renforcement des rotateurs latéraux de hanche pour élever l'arche longitudinale médiale

Les études d'Alam *et al.*, de Mulchandani *et al.* et celles de Goo *et al.* analysent les effets d'un renforcement ou d'un étirement de certains muscles de la hanche sur la morphologie de l'ALM (66,76–78). Les pieds plats étant associés à une RM des articulations du genou et de la hanche (16,66,76,77), il est intéressant d'évaluer les effets d'une correction de cette rotation sur la morphologie du pied. Concrètement, les auteurs étudient l'efficacité d'un étirement des muscles RM de hanche (66) et d'un renforcement des muscles RL de hanche (76,77). Notre question de recherche s'intéressant uniquement au renforcement musculaire, nous ne développerons pas ici l'efficacité de l'étirement des RM de hanche.

Mulchandani *et al.* comparent l'efficacité d'un renforcement des muscles glutéaux associé à celui des MIP et l'efficacité du renforcement des MIP seul, pour lutter contre les déformations du pied plat. Les muscles glutéaux font partie des stabilisateurs de hanche, contrôlant l'adduction et la RM de la coxo-fémorale en excentrique lors de la position debout. Une faiblesse de ces muscles engendre un pied pronateur. Après réalisation du programme d'exercices, la chute du naviculaire et la surface de l'empreinte plantaire sont significativement moins importantes dans le groupe ayant renforcé les muscles glutéaux en plus des MIP, que dans le groupe ayant renforcé seulement les MIP. Le renforcement des muscles glutéaux ajouté à celui des MIP permet donc d'élever l'ALM de façon plus importante que le renforcement des MIP seul (78).

Les deux études incluses de Goo *et al.* confrontent les effets de l'exercice du TS seul avec ceux d'un renforcement des RL de hanche associé à l'exercice TS. La population étudiée est composée de sujets ayant des pieds pronateurs (76,77). Comme dans l'étude de

Mulchandani *et al.*, il est expliqué qu'un déficit de force musculaire du grand fessier (GF) entraîne une RM de hanche, pouvant être associée à une pronation du pied (77,78). Les sujets ayant réalisé l'exercice TS associé au renforcement des RL de hanche présentent une chute du naviculaire significativement moins importante que les sujets n'ayant réalisé que l'exercice TS. Il semble donc que l'association d'un renforcement des RL de hanche et de l'exercice TS soit plus efficace pour corriger l'affaissement de l'ALM, que la réalisation de l'exercice TS seul (76,77).

Les études de Goo *et al.* et celle de Mulchandini *et al.* prouvent que le renforcement des muscles RL de hanche est efficace pour lutter contre l'affaissement de l'ALM chez des sujets ayant des pieds pronateurs (76–78).

4. DISCUSSION

4.1. Discussion des résultats

Les recherches dans la littérature nous ont permis de constater qu'il n'existe pas de consensus pour lutter contre l'affaissement de l'ALM par renforcement musculaire. Il existe cependant un certain nombre d'études évaluant son efficacité à travers différentes techniques. Le but de cette revue était d'analyser ces études afin de connaître l'intérêt du renforcement musculaire pour augmenter la hauteur statique de l'ALM en se basant sur des preuves scientifiques. Des fiches de lecture ont été réalisées pour chaque référence (ANNEXE V).

La réflexion autour de l'efficacité des techniques comprend l'analyse du niveau de preuve des articles. Elle nous a également amené à nous questionner sur l'activation musculaire. L'affaissement de l'ALM peut être observée lors d'une faiblesse musculaire. Nous supposons que l'activation des muscles soutenant de l'ALM permet de l'élever. Les exercices les impliquant sont donc susceptibles d'être plus efficaces pour traiter et prévenir un affaissement de l'ALM.

Trois articles évaluent l'efficacité du SFE sur la posture du pied (71–73). L'étude d'Okamura *et al.* n'a pas permis de mettre en avant des bénéfices statiques, exceptée l'amélioration d'un item du FPI-6 (la position du calcaneus tend vers la position neutre) (71).

Les études d'Unver *et al.* et de Sulowska *et al.* ont démontré son efficacité, aussi bien sur des pieds plats (72) que sur des pieds ne présentant pas de déformation (73).

Okamura *et al.* observent une amélioration des paramètres statiques du pied dans les deux groupes, sans différence significative entre ces derniers. Ces résultats ne sont pas en adéquation avec de précédentes études similaires bien menées. Les auteurs soupçonnent alors que l'examineur ait surestimé les mesures du GT lors de l'évaluation post-protocole. L'évaluation est en effet manuelle et visuelle, donc subjective. La faible taille de l'échantillon (vingt sujets, soit dix dans chaque groupe) peut également expliquer ces différences de résultats (71). L'étude d'Okamura *et al.* est un ECR de forte puissance de niveau de preuve 1. Nous pouvons donc nous appuyer sur les résultats de cette étude.

L'étude de Sulowska *et al.* compare l'efficacité de deux types d'exercices de renforcement des MIP. Il y a une amélioration des critères statiques dans les deux groupes (73). L'efficacité de chacune des techniques aurait pu être plus clairement exposée par une comparaison à un GT ne recevant aucune intervention. La méthodologie et le manque de certaines informations amènent à des risques de biais de sélection, de performance, de détection et de confusion. Le niveau de preuve de cette étude est de 2 selon la grille d'évaluation de la HAS.

L'étude d'Unver *et al.* est un ECNR bien mené, de niveau 2 selon la grille de la HAS. L'étude est réalisée sur 41 sujets et a permis de mettre en avant des résultats significatifs. Les sujets ont été répartis entre le GT et le GE selon leur volonté (72). Les valeurs de base des groupes sont tout de même comparables, excepté le score d'incapacité, mais dans le cadre de ce mémoire nous n'étudions pas ce paramètre.

Plusieurs études ont montré que le SFE active l'ABDH (47,69,74), muscle clé pour le maintien de l'ALM (17,41,47). Les informations recueillies sur cet exercice laissent penser qu'il serait le plus efficace parmi les techniques étudiées.

La FD des quatre derniers orteils est étudiée dans les études de Shiroshita *et al.* et de Ramachandra *et al.*.

L'étude de Shiroshita *et al.* évalue plus précisément le LTE, pour lequel l'efficacité a été observée (67), néanmoins ce résultat est à nuancer. L'interprétation de l'efficacité du LTE comporte un haut risque de biais de confusion, car les sujets ont réalisé un exercice supplémentaire dont les modalités n'ont pas été imposées. Il s'agit d'un ECR de faible puissance.

Ramachandra *et al.* proposent un programme d'exercices qui a démontré son efficacité. Une FD des quatre derniers orteils est demandée au sein de ce programme (68). Son efficacité ne peut être isolée. L'exercice réalisé tel qu'il est décrit par Ramachandra *et al.* nécessite la contraction de nombreux MIP : les interosseux, les lombricaux, l'abducteur du V, le CFH et l'ADDH (69). Cette activation musculaire est intéressante, car ces muscles participent au maintien de l'ALM.

Le « *Toe Gripping* » semble efficace d'après l'étude d'Hashimoto *et al.* (65). Cette étude est une série de cas bien menée, cependant elle ne permet pas seule d'affirmer l'efficacité de l'exercice. D'autres études sont nécessaires.

L'efficacité du TCE et celle du TS ne peuvent être confirmées. Dans l'étude de Shiroshita *et al.*, le TCE semble même être en faveur d'un affaissement de l'ALM (67). Dans celle d'Alam *et al.*, cet exercice est utilisé en même temps que d'autres exercices, nous ne pouvons donc pas connaître son efficacité isolément (66). Le TS n'étant pas directement évalué dans les articles inclus, son efficacité ne peut pas être affirmée, même si les résultats semblent montrer des bénéfices. De plus, les deux études de Goo *et al.* utilisent cette technique mais ne la décrivent pas (76,77). Nous avons alors recherché sa description dans la littérature, mais nous ne sommes pas certains que l'exercice ait été réalisé ainsi.

Les références analysées ne permettent pas de sélectionner une ou plusieurs techniques impliquant des MEP pour l'élaboration du protocole. Le TP semble particulièrement important pour soutenir l'ALM (17,40). L'association de son renforcement avec d'autres techniques semble être efficace pour lutter contre l'affaissement de l'ALM, mais les études analysées ne permettent pas de connaître l'efficacité de ce renforcement isolément (14,66,68). C'est pourquoi nous avons recherché un exercice le renforçant et ne nécessitant pas de matériel, afin de l'inclure dans notre protocole. Dans les études incluses de Ramachandra *et al.* et de Mulchandani *et al.*, il est demandé aux sujets de se mettre sur la pointe des pieds (68,78).

La position du pied n'est pas précisée, pourtant celle-ci influence l'activation musculaire. Se mettre sur la pointe du pied, avec une adduction du pied de 30° et le poids du corps porté par l'articulation métatarso-phalangienne du V (Fig.33), active le TP et le LFO de façon plus importante. Il serait donc pertinent de réaliser cet exercice de cette manière pour cibler ces muscles (79). Nous n'avons pas de preuve à propos de l'efficacité de l'exercice pour élever l'ALM, il serait intéressant de l'étudier.



Figure 33 : Photographies de l'exercice de renforcement du TP

Parmi les références incluses dans la revue, quatre étudient l'efficacité de techniques au niveau des hanches pour élever l'ALM.

Dans l'étude d'Alam *et al.*, l'étirement de l'ilio-psoas (RM de hanche) associé au renforcement du TP et à l'exercice du TCE diminuent la chute du naviculaire de manière significativement plus importante que la réalisation de l'exercice du TCE seul chez des sujets ayant des pieds pronateurs bilatéraux. Il n'est pas possible de différencier l'efficacité du renforcement du TP et celle de l'étirement de l'ilio-psoas dans cette étude, cependant leur association est efficace pour élever l'ALM (66). Cet article est un ECR de forte puissance, de niveau de preuve 1. Nous pouvons donc nous appuyer sur ses résultats.

L'étude de Mulchandani *et al.* et celles de Goo *et al.* montrent que le renforcement des RL de hanche est efficace pour élever l'ALM (76–78). L'étude de Mulchandani *et al.* est un ECR de faible puissance, de niveau de preuve 2. Dans cette étude, le risque de biais provient

essentiellement d'un manque d'informations (78). L'étude de Goo *et al.* "*The effects of gluteus maximus and abductor hallucis strengthening exercises for four weeks on navicular drop and lower extremity muscle activity during gait with flatfoot*" est un ECR comportant de nombreux risques de biais. Là aussi beaucoup d'informations sont manquantes. Le biais de confusion est modéré, car il semblerait que les sujets du GT aient un IMC plus élevé que les sujets du GE. Or ce paramètre influençant l'apparition de pieds plats valgus, cette différence pourrait impacter l'issue de l'étude (77). L'étude de Goo *et al.* "*The effects of hip external rotator exercises and toe-spread exercises on lower extremity muscle activities during stair-walking in subjects with pronated foot*" ressemble à l'étude précédente. Le même risque de biais de confusion est présent, pour les mêmes raisons. La différence avec l'étude précédente est qu'elle n'est pas randomisée (76). Les niveaux de preuve des articles étudiant l'efficacité du renforcement des RL de hanche varient entre 2 et 4. La convergence des résultats amène à penser que ce renforcement est réellement efficace pour élever l'ALM.

Les études de Ramachandra *et al.* et Mulchandani *et al.* ont de hauts niveaux de preuve (1 et 2 respectivement), mais elles portent sur des programmes, il est donc impossible de connaître l'efficacité des techniques isolément. Ces études ne nous permettent pas de faire un choix parmi les exercices. Elles nous indiquent cependant que des programmes d'exercices visant à traiter les PPVS ont déjà montré leur efficacité (68,78).

Augustina *et al.* et Ramachandra *et al.* étudient l'efficacité de programmes sur la prévention et le traitement des PPVS chez les FE. Ces deux études sont bien menées et montrent des bénéfices (14,68). Les résultats encouragent la réalisation de tels programmes sur des FE.

4.2. Généralisation des résultats

Notre protocole est destiné à des FE. Parmi les études incluses, seules celles d'Augustina *et al.* et de Ramachandra *et al.* concernent cette population (14,68). Les résultats des autres études ne peuvent pas être généralisés à notre population cible. Nous les prenons tout de même en compte, en émettant cette réserve. Lors de la sélection des références, les articles portant sur des personnes âgées et des enfants ont été exclus, car ces populations sont trop éloignées de celle de FE. Il est également intéressant de noter que le nombre

d'études portant sur les pieds plats des FE est très faible, ce qui justifie l'intérêt de réaliser de nouvelles études.

4.3. Contrôle de la position articulaire de la subtalaire

Il semble que le renforcement des MIP améliore leur rôle de stabilisateur du pied. Les MIP stabilisent le pied, mais jouent également un rôle de capteurs sensoriels (43). Dans les études analysées, il n'est pas demandé aux sujets de contrôler la position de l'articulation subtalaire lors de la réalisation des exercices. Cependant, le but de ces exercices est de corriger la posture du pied *in fine*. Il serait donc intéressant de commencer par une prise de conscience de la bonne posture du pied, par la correction du positionnement articulaire de la subtalaire. Le renforcement musculaire plantaire peut ensuite être réalisé en maintenant cette correction, afin que celle-ci soit intégrée.

4.4. L'aspect préventif dans les articles inclus

Notre question de recherche était : quelle est l'efficacité du renforcement musculaire pour prévenir ou lutter contre l'affaissement de l'ALM en position statique ? Seule l'étude de Ramachandra *et al.* aborde l'aspect préventif. Les auteurs partent du même constat que celui à l'origine de ce mémoire : l'ALM s'affaisse à partir du 2^{ème} trimestre de grossesse et il serait intéressant de prévenir cette déformation. L'étude porte sur 81 femmes primigestes réparties aléatoirement entre un GT et un GE réalisant un programme d'exercices. Les investigateurs étudient l'évolution des paramètres plantaires et des dysfonctions entre la 18^{ème}, la 24^e et la 32^e SG, puis comparent les évolutions entre les deux groupes. Ils observent que les FE du groupe GT ont un affaissement significativement plus important que les FE du GE. Il s'agit d'un ECR de forte puissance, de niveau de preuve 1. Les résultats peuvent être considérés comme fiables. Les autres études incluses n'abordent pas l'aspect préventif. Les sujets ne sont pas suivis sur le long terme, nous ne savons pas si les résultats ont été maintenus dans le temps, ni si les techniques utilisées préviennent l'apparition de PPVS.

4.5. Limites de la revue de la littérature

4.5.1. Méthodologie

Cette revue de la littérature n'est pas exhaustive. La recherche dans la littérature a été réalisée à l'aide d'équations de recherche telles que décrites ci-dessus et par la lecture des bibliographies. Certaines techniques de renforcement musculaire sont étudiées plusieurs fois. Il aurait alors été possible de rechercher les études existantes pour chaque technique en faisant des recherches par nom de technique. Peut-être que des références supplémentaires auraient alors pu être incluses.

4.5.2. Limites de l'évaluation de l'efficacité des techniques

Dans plusieurs des études incluses, les exercices utilisés ne sont pas décrits (76–78). La description de ces derniers a été retrouvée dans la littérature. Cependant, nous ne pouvons pas être certains que les exercices ont bien été réalisés ainsi. Si l'exercice a été réalisé différemment, alors les activations musculaires et les effets biomécaniques supposés seront différents. De plus, il n'est pas possible de reproduire l'exercice de façon identique.

Il n'existe pas de consensus concernant la mesure clinique de l'ALM. Les auteurs utilisent les mêmes termes pour parler d'évaluations différentes ou réalisées différemment. Cela complique la comparaison des résultats des articles.

Le ND test est le plus utilisé dans les articles inclus. Il permet d'évaluer l'efficacité de la technique de renforcement proposée. Il peut être réalisé de façons différentes. En effet, la position neutre de l'articulation subtalaire (ANNEXE VII) et la hauteur de la tubérosité du naviculaire peuvent être déterminées de manières différentes. Si les tests ne sont pas effectués de la même manière, la comparaison des valeurs de ces tests est compromise. Si le test n'est pas décrit dans l'étude, comme dans celles de Goo *et al.*, de Mulchandini *et al.* et d'Okamura *et al.* (71,76–78), la comparaison des résultats est d'autant plus difficile.

Il serait intéressant d'écrire une revue de la littérature recensant les tests cliniques d'évaluation de l'ALM, puis de comparer leur fiabilité et leur validité. Ce travail permettrait *in fine* de créer un guide d'évaluation clinique de l'ALM basé sur des preuves scientifiques.

Notre revue de la littérature s'intéresse à l'efficacité du renforcement musculaire pour prévenir ou traiter l'affaissement de l'ALM. Nous jugeons donc indirectement la fonction de ces muscles à travers la morphologie du pied. Seule l'étude d'Hashimoto *et al.* mesure directement la force des fléchisseurs des orteils, puis elle fait le lien avec la forme de l'ALM (65). Dans le paradigme « *the foot core system* », McKeon *et al.* considèrent que la fonctionnalité du pied dépend des muscles intrinsèques et extrinsèques qui contrôlent sa stabilité et ses mouvements (44). Les MIP ont un rôle de soutien dans le contrôle dynamique du pied (43).

4.6. Autres techniques conservatrices pour lutter contre l'affaissement de l'ALM

4.6.1. Electrostimulation

L'électrostimulation peut être utilisée pour activer des muscles cibles dans le but d'élever l'ALM. Elle permet d'augmenter l'activation de l'ABDH (80) et sa surface de section transversale (81).

Okamura *et al.* se sont posés la question, si le renforcement des MIP par stimulation électrique ne permettrait pas un meilleur soutien de l'ALM lors de la station debout et de la marche. Ils réalisent alors deux études : l'une portant sur des sujets ne présentant pas de déformations plantaires et l'autre sur des sujets ayant des pieds plats. Dans les deux études, la chute du naviculaire est moins importante dans les groupes ayant reçu une stimulation électrique que dans les groupes n'en n'ayant pas reçu. Cette différence est significative chez les sujets ne présentant pas de déformation plantaire, mais ne l'est pas pas chez les sujets ayant les pieds plats. D'après ces études, la stimulation électrique des MIP semble permettre un meilleur soutien de l'ALM (82,83).

4.6.2. Semelles orthopédiques

Une semelle est une « *orthèse plantaire placée dans la chaussure, sous la voûte plantaire pour la soutenir ou corriger la position* » (84). Les semelles supportent les structures passives afin de limiter les déformations du pied, pouvant ainsi corriger les malpositions articulaires sus-jacentes, dont l'origine serait la posture du pied.

Segal *et al.* étudient l'efficacité du port de semelles orthopédiques pour prévenir l'affaissement de l'ALM chez les FE. Les participantes ont été recrutées pendant le 1^{er} trimestre de grossesse et ne présentaient pas de pieds plats. Les auteurs comparent l'évolution des paramètres plantaires d'un groupe de FE portant des semelles à ceux d'un groupe de FE n'en portant pas, entre le 1^{er} trimestre et huit semaines post-partum. Aucune différence statistiquement significative n'a été retrouvée, ni entre les deux groupes, ni au sein d'un même groupe. L'absence d'affaissement de l'ALM au cours de la grossesse est étonnante en comparaison avec les résultats d'autres études. Cette étude n'a pas permis de démontrer l'efficacité du port de semelles orthopédiques pour prévenir l'affaissement de l'ALM pendant la gestation. De futures études seraient nécessaires (85).

L'étude de Kim *et al.* compare l'efficacité du SFE et celle du port de semelles pour élever le naviculaire chez des sujets ayant des PPVS. Une amélioration significativement plus importante au ND test a été observée dans le groupe ayant réalisé le SFE par rapport au groupe portant des semelles. Le SFE semble donc plus efficace que le port de semelles pour élever l'ALM (86). D'autres études confrontant l'efficacité du renforcement musculaire à celle des semelles pour lutter contre l'affaissement de l'ALM avec un groupe témoin ne réalisant pas d'interventions, seraient nécessaires.

4.7. Le pied plat valgus souple et la posture

Le PPVS est un facteur de risque de développer des pathologies locales et sus-jacentes à cause du mauvais alignement articulaire qu'il induit. Le renforcement des MIP permet de corriger la posture du PPVS, il pourrait donc prévenir l'apparition de ces pathologies. Le renforcement des muscles plantaires a notamment montré son efficacité pour soulager les douleurs fémoro-patellaires (87) et la fasciite plantaire (88).

5. CONCLUSION

Les femmes ont tendance à développer des PPVS (13,26) à partir du 2^{ème} trimestre de grossesse (68,89) et plus particulièrement lorsqu'elles sont primigestes (6,11). Cette déformation semble persister après l'accouchement (5–7). La cause serait la prise de poids et l'augmentation de la laxité articulaire (1–5). Les PPVS induisent un mauvais positionnement

articulaire susceptible de causer des troubles musculo-squelettiques (31–38). Il est donc intéressant de prévenir leur apparition.

Le pied plat valgus associe un valgus de l'arrière-pied et une abduction et une supination de l'avant-pied, entraînant un affaissement de l'ALM (12). Lorsque le pied plat valgus est souple, l'origine des malpositions articulaires est un déficit de maintien par les structures actives et passives jouant ce rôle (1,12,17,24). Nous nous sommes alors demandés si le renforcement des muscles s'opposant à ces déformations pourrait apporter une correction. L'affaissement de l'ALM étant la déformation la plus étudiée dans la littérature, nous l'avons ciblé comme critère de jugement.

Le renforcement des MIP et des MEP semble efficace pour lutter contre l'affaissement de l'ALM (14,65–68,71–73). Il est également important de s'intéresser aux articulations sus-jacentes dont la position est modifiée par le PPVS. La correction de la RM de hanche par le renforcement des RL et l'étirement des RM permet d'élever l'ALM (76–78,66).

Différentes techniques ont été étudiées dans les références incluses. Parmi elles, le SFE apparaît comme la plus efficace (71–73). D'autres études sont nécessaires pour établir l'efficacité des autres techniques isolément. Certaines références évaluent des programmes d'exercices et montrent leur efficacité (14,68,78). Les études d'Augustina *et al.* et de Ramachandra *et al.* portent sur des FE et leurs résultats prouvent l'efficacité de tels programmes pour traiter ou prévenir l'affaissement de l'ALM chez des FE. Ces deux études montrent l'intérêt de poursuivre des recherches sur cette population. A l'issue de notre revue de la littérature, nous avons imaginé un protocole basé sur les preuves apportées par celle-ci (ANNEXE VIII). La réalisation de ce protocole ainsi que son évaluation scientifique, seraient de belles perspectives s'inscrivant dans la continuité de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

1. Anselmo DS, Love E, Tango DN, Robinson L. Musculoskeletal effects of pregnancy on the lower extremity : A literature review. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2017;107(1):60-4.
2. Thomas Haendlmayer K, John Harris N. Flatfoot deformity : An overview. *Orthop Trauma.* 2009;23(6):395-403.
3. Wetz HH, Hentschel J, Drerup B, Kiesel L, Osada N, Veltmann U. Changes in shape and size of the foot during pregnancy. *Orthopade.* 2006;35(11):1124, 1126-30.
4. McCrory J, Harrison K, Mancinelli C, Meszaros P, Thomas K. The effect of added weight on foot anthropometry in pregnant women and controls. *Int J Exerc Sci Conf Proc.* 2016;9(4).
5. Dunn J, Dunn C, Habbu R, Bohay D, Anderson J. Effect of pregnancy and obesity on arch of foot. *Orthop Surg.* 2012;4(2):101-4.
6. Segal NA, Boyer ER, Teran-Yengle P, Glass NA, Hillstrom HJ, Yack HJ. Pregnancy leads to lasting changes in foot structure. *Am J Phys Med Rehabil.* 2013;92(3):232-40.
7. Ramachandra P, Kumar P, Kamath A, Maiya AG. Do structural changes of the foot influence plantar pressure patterns during various stages of pregnancy and postpartum? *Foot Ankle Spec.* 2017;10(6):513-9.
8. Ojukwu CP, Anyanwu EG, Nwafor GG. Correlation between Foot Arch Index and the Intensity of Foot, Knee, and Lower Back Pain among Pregnant Women in a South-Eastern Nigerian Community. *Med Princ Pract.* 2017;26(5):480-4.
9. Ponnappula P, Boberg JS. Lower extremity changes experienced during pregnancy. *J Foot Ankle Surg Off Publ Am Coll Foot Ankle Surg.* 2010;49(5):452-8.
10. Gijon-Nogueron GA, Gavilan-Diaz M, Valle-Funes V, Jimenez-Cebrian AM, Cervera-Marin JA, Morales-Asencio JM. Anthropometric foot changes during pregnancy: a pilot study. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2013;103(4):314-21.
11. Alvarez R, Stokes IA, Asprinio DE, Trevino S, Braun T. Dimensional changes of the feet in pregnancy. *J Bone Joint Surg Am.* 1988;70(2):271-4.
12. Leemrijse T, Besse J-L, Devos Bevernage B, Valtin B, Barnaud A, Lengelé B. *Pathologie du pied et de la cheville.* 2^{ème} édition. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson; 2015. 990p. ISBN : 9782294738937
13. Pourghasem M, Kamali N, Farsi M, Soltanpour N. Prevalence of flatfoot among school students and its relationship with BMI. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2016;50(5):554-7.
14. Augustina SJ, Kamalakannan M, Thusharaa S, Dhajari C, Dhanalaksmi A. Influence of barefoot exercise in subjects with flat foot in pregnant women primiparous. *Drug Invent Today.* 2019;11(10):5.

15. Wijnhoven HAH, de Vet HCW, Picavet HSJ. Prevalence of musculoskeletal disorders is systematically higher in women than in men. *Clin J Pain*. 2006;22(8):717-24.
16. Brigaud F. Corriger le pied sans semelle : pied pronateur, supinateur & prévention des entorses. Mondovi : Désiris ; 2015. 144p. ISBN : 9782364030947.
17. Kapandji AI. Anatomie fonctionnelle - Tome 2. Membre inférieur. 6^{ème} édition. Paris : Maloine; 2009. 314p. ISBN : 9782224026479.
18. Dufour M. Anatomie de l'appareil locomoteur - Tome 1. Membre inférieur. 3^{ème} édition. Issy-lès-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2015. 536p. ISBN : 97822944745027.
19. Maestro M, Ferre B. Anatomie fonctionnelle du pied et de la cheville de l'adulte. *Rev Rhum Monogr*. 2014;81(2):61-70.
20. Redmond A. The foot posture index: User guide and manual. 2005.
21. Menz HB, Dufour AB, Riskowski JL, Hillstrom HJ, Hannan MT. Association of planus foot posture and pronated foot function with foot pain: the Framingham foot study: relationship of foot pain to foot function and posture. *Arthritis Care Res*. 2013;65(12):1991-9.
22. Toullec E. Adult flatfoot. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR*. 2015;101(1):S11-17.
23. Papaliodis DN, Vanushkina MA, Richardson NG, DiPreata JA. The foot and ankle examination. *Med Clin North Am*. 2014;98(2):181-204.
24. Lever CJ, Hennessy MS. Adult flat foot deformity. *Orthop Trauma*. 2016;30(1):41-50.
25. Lee MS, Vanore JV, Thomas JL, Catanzariti AR, Kogler G, Kravitz SR, et al. Diagnosis and treatment of adult flatfoot. *J Foot Ankle Surg*. 2005;44(2):78-113.
26. Thomas Haendlmayer K, John Harris N. Flatfoot deformity: an overview. *Orthop Trauma*. 2009;23(6):395-403.
27. Radl R, Fuhrmann G, Maafe M, Krifter R-M. Hindfoot valgus. Diagnosis and therapy of flatfoot. *Orthopade*. 2012;41(4):313-24.
28. Toullec E. Adult flatfoot. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR*. 2015;101(1):S11-17.
29. Lever CJ, Hennessy MS. Adult flat foot deformity. *Orthop Trauma*. 2016;30(1):41-50.
30. Rabe KG, Segal NA, Waheed S, Anderson DD. The effect of arch drop on tibial rotation and tibiofemoral contact stress in postpartum women. *PM&R*. 2018;10(11):1137-44.
31. Willem G. Le diagnostic en posturologie : une approche globale en kinésithérapie, orthoptie, podologie, odontologie. 2^{ème} édition. Frison-Roche ; 2017. 188p. ISBN : 9782876715943.
32. Levinger P, Menz HB, Fotoohabadi MR, Feller JA, Bartlett JR, Bergman NR. Foot posture in people with medial compartment knee osteoarthritis. *J Foot Ankle Res*. 2010;3(1):29.

33. Moen MH, Bongers T, Bakker EW, Zimmermann WO, Weir A, Tol JL, et al. Risk factors and prognostic indicators for medial tibial stress syndrome: risk factors and prognostic indicators for medial tibial stress syndrome. *Scand J Med Sci Sports*. 2012;22(1):34-9.
34. Newman P, Witchalls J, Waddington G, Adams R. Risk factors associated with medial tibial stress syndrome in runners: a systematic review and meta-analysis. *Open Access J Sports Med*. 2013;229.
35. Menz HB, Dufour AB, Riskowski JL, Hillstrom HJ, Hannan MT. Foot posture, foot function and low back pain: the Framingham Foot Study. *Rheumatology*. 2013;52(12):2275-82.
36. Barton CJ, Bonanno D, Levinger P, Menz HB. Foot and ankle characteristics in patellofemoral pain syndrome: a case control and reliability study. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2010;40(5):286-96.
37. Mølgaard C, Rathleff MS, Simonsen O. Patellofemoral pain syndrome and its association with hip, ankle, and foot function in 16- to 18-year-old high school students: a single-blind case-control study. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2011;101(3):215-22.
38. Hertel J, Dorfman JH, Braham RA. Lower extremity malalignments and anterior cruciate ligament injury history. *J Sports Sci Med*. 2004;3(4):220-5.
39. Netter FH, Kamina P. *Atlas d'anatomie humaine*. 4^{ème} édition. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2007. 548p. ISBN : 9782294080425.
40. Walters JL, Mendicino SS. The flexible adult flatfoot: anatomy and pathomechanics. *Clin Podiatr Med Surg*. 2014;31(3):329-36.
41. Kelly LA, Cresswell AG, Racinais S, Whiteley R, Lichtwark G. Intrinsic foot muscles have the capacity to control deformation of the longitudinal arch. *J R Soc Interface*. 2014;11(93):202-12.
42. Brosky JA, Balazsy JE. Functional Anatomy of the Foot and Ankle. In: Placzek JD, Boyce DA, éditeurs. *Orthopaedic Physical Therapy Secrets*. 3^{ème} édition. Elsevier; 2017. p. 581-6.
43. McKeon PO, Fourchet F. Freeing the foot: integrating the foot core system into rehabilitation for lower extremity injuries. *Clin Sports Med*. 2015;34(2):347-61.
44. McKeon PO, Hertel J, Bramble D, Davis I. The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function. *Br J Sports Med*. 2015;49(5):290-290.
45. Headlee DL, Leonard JL, Hart JM, Ingersoll CD, Hertel J. Fatigue of the plantar intrinsic foot muscles increases navicular drop. *J Electromyogr Kinesiol*. 2008;18(3):420-5.
46. Fiolkowski P, Brunt D, Bishop M, Woo R, Horodyski M. Intrinsic pedal musculature support of the medial longitudinal arch: an electromyography study. *J Foot Ankle Surg*. 2003;42(6):327-33.

47. Jung D-Y, Kim M-H, Koh E-K, Kwon O-Y, Cynn H-S, Lee W-H. A comparison in the muscle activity of the abductor hallucis and the medial longitudinal arch angle during toe curl and short foot exercises. *Phys Ther Sport*. 2011;12(1):30-5.
48. Sherwood L, Ectors F. *Physiologie humaine*. 3^{ème} édition. Louvain-la-Neuve : De Boeck; 2015. 750p. ISBN : 9782804189969.
49. Jankowicz-Szymańska A, Wódka K, Kołpa M, Mikołajczyk E. Foot longitudinal arches in obese, overweight and normal weight females who differ in age. *HOMO*. 2018;69(1):37-42.
50. Jankowicz-Szymanska A, Mikolajczyk E. Effect of excessive body weight on foot arch changes in preschoolers: a 2-year follow-up study. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2015;105(4):313-9.
51. Chu SR, Boyer EH, Beynnon B, Segal NA. Pregnancy results in lasting changes in knee joint laxity: pregnancy and changes in knee joint laxity. *PM&R*. 2019;11(2):117-24.
52. Calguneri M, Bird HA, Wright V. Changes in joint laxity occurring during pregnancy. *Ann Rheum Dis*. 1982;41(2):126-8.
53. Östgaard HC, Andersson GBJ, Schultz AB, Miller JAA. Influence of some biomechanical factors on low-back pain in pregnancy. *Spine*. 1993;18(1):61-5.
54. Lindgren A, Kristiansson P. Finger joint laxity, number of previous pregnancies and pregnancy induced back pain in a cohort study. *BMC Pregnancy Childbirth*. 2014;14(1):61.
55. Schauburger CW, Rooney BL, Goldsmith L, Shenton D, Silva PD, Schaper A. Peripheral joint laxity increases in pregnancy but does not correlate with serum relaxin levels. *Am J Obstet Gynecol*. 1996;174(2):667-71.
56. Marnach ML, Ramin KD, Ramsey PS, Song S-W, Stensland JJ, An K-N. Characterization of the relationship between joint laxity and maternal hormones in pregnancy. *Obstet Gynecol*. 2003;101(2):331-5.
57. Pokorny MJ, Smith TD, Calus SA, Dennison EA. Self-reported oral contraceptive use and peripheral joint laxity. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2000;30(11):683-92.
58. Dehghan F, Haerian BS, Muniandy S, Yusof A, Dragoo JL, Salleh N. The effect of relaxin on the musculoskeletal system: musculoskeletal system. *Scand J Med Sci Sports*. 2014;24(4):e220-9.
59. Zarrow MX, Holmstrom EG, Salhanick HA. The concentration of relaxin in the blood serum and other tissues of women during pregnancy. *J Clin Endocrinol Metab*. 1955;15(1):22-7.
60. Hansen M, Kjaer M. *Sex Hormones and Tendon*. Springer, Cham. 2016; 920(1):139-49.
61. Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé (France), Service recommandations et références professionnelles. *Analyse de la littérature et gradation des recommandations*. Paris: ANAES; 2000.

62. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman D. PRISMA 2009 Flow Diagram. PRISMA statement; 2009.
63. Higgins J, Savovic J, Page M, Elbers R, Sterne J. Chapter 8: Assessing risk of bias in a randomized trial. [cité 24 avr 2020]. Disponible sur: <https://training.cochrane.org/handbook/current/chapter-08>
64. Soma M, Murata S, Kai Y, Nakae H, Satou Y. Strength and muscle activities during the toe-gripping action: comparison of ankle angle in the horizontal plane between the sitting upright and standing positions. *J Phys Ther Sci*. 2016;28(3):992-5.
65. Hashimoto T, Sakuraba K. 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. *J Phys Ther Sci*. 2014;26(3):373-6.
66. Alam F, Raza S, Moiz JA, Bhati P, Anwer S, Alghadir A. Effects of selective strengthening of tibialis posterior and stretching of iliopsoas on navicular drop, dynamic balance, and lower limb muscle activity in pronated feet: A randomized clinical trial. *Phys Sportsmed*. 2019;47(3):301-11.
67. Shiroshita T. Morphologic relationship between toe exercises and the medial longitudinal arch. 2019;9(5):6.
68. Ramachandra P, Kumar P, Kamath A, Maiya AG. Effect of intrinsic and extrinsic foot muscle strengthening exercises on foot parameters and foot dysfunctions in pregnant women: a randomised controlled trial. *Int J Ther Rehabil*. 2019;26(2):1-11.
69. Gooding TM, Feger MA, Hart JM, Hertel J. Intrinsic foot muscle activation during specific exercises: A T2 Time Magnetic Resonance Imaging study. *J Athl Train*. 2016;51(8):644-50.
70. Pascual Huerta J. The effect of the gastrocnemius on the plantar fascia. *Foot Ankle Clin*. 2014;19(4):701-18.
71. Okamura K, Fukuda K, Oki S, Ono T, Tanaka S, Kanai S. Effects of plantar intrinsic foot muscle strengthening exercise on static and dynamic foot kinematics: A pilot randomized controlled single-blind trial in individuals with pes planus. *Gait Posture*. 2020;75:40-5.
72. Unver B, Erdem EU, Akbas E. Effects of Short-Foot Exercises on foot posture, pain, disability, and plantar pressure in Pes Planus. *J Sport Rehabil*. 2019;1-5.
73. Sulowska I, Oleksy Ł, Mika A, Bylina D, Sołtan J. 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. Buchowski M, éditeur. *PLOS ONE*. 2016;11(6).
74. Kim M-H, Kwon O-Y, Kim S-H, Jung D-Y. Comparison of muscle activities of abductor hallucis and adductor hallucis between the short foot and toe-spread-out exercises in subjects with mild hallux valgus. *J Back Musculoskelet Rehabil*. 2013;26(2):163-8.

75. Jung D-Y, Koh E-K, Kwon O-Y. 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. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2011;24(4):225-31.
76. Goo Y-M, Kim D-Y, Kim T-H. The effects of hip external rotator exercises and toe-spread exercises on lower extremity muscle activities during stair-walking in subjects with pronated foot. *J Phys Ther Sci.* 2016;28(3):816-9.
77. Goo Y-M, Kim T-H, Lim J-Y. The effects of gluteus maximus and abductor hallucis strengthening exercises for four weeks on navicular drop and lower extremity muscle activity during gait with flatfoot. *J Phys Ther Sci.* 2016;28(3):911-5.
78. Mulchandani PA, Warude T, Pawar A. Effectiveness of gluteal muscle strengthening on flat foot. *Asian J Pharm Clin Res.* 2017;10(6):219.
79. Akuzawa H, Imai A, Iizuka S, Matsunaga N, Kaneoka K. The influence of foot position on lower leg muscle activity during a heel raise exercise measured with fine-wire and surface EMG. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med.* 2017;28:23-8.
80. Namsawang J, Eungpinichpong W, Vichiansiri R, Rattanathongkom S. Effects of the short foot exercise with neuromuscular electrical stimulation on navicular height in flexible flatfoot in Thailand: a randomized controlled trial. *J Prev Med Pub Health.* 2019;52(4):250-7.
81. Ebrecht F, Sichtung F. Does neuromuscular electrostimulation have the potential to increase intrinsic foot muscle strength? *Foot Edinb Scotl.* 2018;35:56-62.
82. Okamura K, Kanai S, Fukuda K, Tanaka S, Ono T, Oki S. The effect of additional activation of the plantar intrinsic foot muscles on foot kinematics in flat-footed subjects. *The Foot.* 2019;38:19-23.
83. Okamura K, Kanai S, Hasegawa M, Otsuka A, Oki S. The effect of additional activation of the plantar intrinsic foot muscles on foot dynamics during gait. *The Foot.* 2018;34:1-5.
84. Garnier M, Delamare J, Delamare F, Gélis-Malville É, Delamare L. *Dictionnaire illustré des termes de médecine.* 31^{ème} édition. Paris: Maloine; 2012. 1088p. ISBN : 9782224032579.
85. Segal NA, Neuman LN, Hochstedler MC, Hillstrom HL. Static and dynamic effects of customized insoles on attenuating arch collapse with pregnancy: A randomized controlled trial. *Foot Edinb Scotl.* 2018;37:16-22.
86. Kim E-K, Kim JS. The effects of short foot exercises and arch support insoles on improvement in the medial longitudinal arch and dynamic balance of flexible flatfoot patients. *J Phys Ther Sci.* 2016;28(11):3136-9.
87. Mølgaard CM, Rathleff MS, Andreasen J, Christensen M, Lundbye-Christensen S, Simonsen O, et al. Foot exercises and foot orthoses are more effective than knee focused exercises in individuals with patellofemoral pain. *J Sci Med Sport.* 2018;21(1):10-5.
88. Huffer D, Hing W, Newton R, Clair M. Strength training for plantar fasciitis and the intrinsic foot musculature: A systematic review. *Phys Ther Sport.* 2017;24:44-52.

89. Alvarez R, Stokes IA, Asprinio DE, Trevino S, Braun T. Dimensional changes of the feet in pregnancy. *J Bone Joint Surg Am.* 1988;70(2):271-4.
90. Williams DS, McClay IS. Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch: reliability and validity. *Phys Ther.* 2000;80(9):864-71.

ANNEXES

ANNEXE I : tableau synthétisant les références utilisées parlant des déformations des pieds des femmes enceintes

ANNEXE II : tests de réductibilité du pied plat valgus

ANNEXE III : équations de recherches

ANNEXE IV : modèle de grille de lecture proposé par l'IFMK

ANNEXE V : grilles de lecture complétées

ANNEXE VI : tableau synthétisant les études retenues

ANNEXE VII : outils d'évaluation utilisés dans les articles inclus

ANNEXE VIII : protocole détaillé

ANNEXE IX : livret destiné aux participantes du groupe expérimental

ANNEXE X : questionnaire X-APP

ANNEXE I : tableau synthétisant les références utilisées parlant des déformations des pieds des femmes enceintes

Titre	Auteurs	Année	Population	Comparaison	Crit jgmt	Moyens d'évaluation	Résultats	Commentaire
Do Structural Changes of the Foot Influence Plantar Pressure Patterns During Various Stages of Pregnancy and Postpartum?	Ramachandra P, Kumar P, Kamath A, Maiya AG.	2017	84 primigestes enceintes de 12 semaines ou moins, âgées entre 18 et 35 ans.	Comparaison des valeurs des mesures prises à 5 périodes pendant la grossesse et le postpartum : à la 12e SG ou avant / à la 24e SG / à la 32e SG / 3e jour postpartum si accouchement par voie basse / 6e jour si opération césarienne / 6e semaine postpartum.	Hauteur naviculaire	Distance sol - marquage (au niveau de la portion la plus antérieure et inférieure de la tubérosité du naviculaire)	Diminution significative de la hauteur entre les différentes périodes de grossesse et de postpartum au cours du temps.	Etude très intéressante pour la réalisation de ce mémoire. Elle est récente est la taille de l'échantillon permet de mettre en évidence des modifications significatives.
					Longueur et longueur tronquée des pieds	Sujet debout sur un papier sur lequel un graphique réglé était dessiné. L'extrémité du 1 ^{er} orteil et le talon devaient être alignés. Reports orthonormés de repères osseux sur le graphique : L'extrémité distale de l'hallux et le point le plus postérieur du talon. Distance mesurée entre le point le plus postérieur du talon et centre articulation MP du 1.	Augmentation non significative de la longueur et de la longueur tronquée du pied au cours du temps. Pas de retour aux valeurs de base à 6 semaines post-partum.	
					Largeur des pieds	Sujet debout sur un papier sur lequel un graphique réglé était dessiné. L'extrémité du 1 ^{er} orteil et le talon devaient être alignés. Reports orthonormés de repères osseux sur le graphique : La proéminence médiale de la tête du 1 ^{er} métatarse et la proéminence latérale du 5 ^e métatarse. Distance mesurée entre ces deux points.	Augmentation significative entre les différentes périodes de grossesse et de postpartum au cours du temps.	

Changes in shape and size of the foot during pregnancy	Wetz HH, Hentschel J, Drerup B, Kiesel L, Osada N, Veltmann U.	2006	40 FE.	Comparaison des critères de jugement relevés au 1 ^{er} , 2 ^e et 3 ^e trimestre de grossesse.	Hauteur des malléoles médiales	Echelle inventée spécialement pour l'étude.	-0,09mm, -0,11% entre le 1 ^{er} et le 3 ^e trimestre. Diminution non significative.	Etude bien menées et mettant en évidence les modifications plantaires des FE et leur l'évolution au cours de la grossesse.
					Volume des pieds	Mesure par volume d'eau.	Augmentation significative entre 1 ^{er} et 3 ^e trimestre.	
					Largeur des pieds	Echelle inventée spécialement pour l'étude	+1,94 mm +2,12% entre le 1 ^{er} et le 3 ^e trimestre. Augmentation significative.	
					Longueur des pieds	Echelle inventée spécialement pour l'étude.	+1,79mm + 0,73% entre le 1 ^{er} et le 3 ^e trimestre Augmentation significative	
Dimensional changes of the feet in pregnancy	Alvarez R, Stokes IA, Asprinio DE, Trevino S, Braun T	1988	17 FE.	Comparaison des mesures à 13 SG, 35 SG et à 8 semaines après avoir donné naissance.	Volume des pieds	Mesure par volume d'eau.	Augmentation significative du volume du pied : en moyenne de 57,2mL entre les semaines 13 et 35 de grossesse. Diminution de 14,68% seulement à la 8e semaine post-partum.	L'une des 1ères études évaluant les changements plantaires chez les FE et l'une des rares études les observant en post-partum.
					Longueur des pieds	Distance entre l'extrémité distale de l'hallux et la partie la plus postérieure du talon.	Augmentation non significative.	
					Largeur des pieds	Distance entre la proéminence médiale de la tête de M1 et la proéminence latérale de la tête de M5.	Augmentation non significative (même si la tendance était visible).	

The Effect of Added Weight on Foot Anthropometry in Pregnant Women and Controls	McCrorry J, Harrison K, Mancinelli C, Meszaros P, Thomas K	2016	15 femmes primigestes et 13 femmes nulligestes.	Comparaison entre femmes primigestes et nulligestes	Hauteur des arches longitudinales médiales et AHI		Diminution de l'AHI avec le poids ajouté. La diminution est plus importante chez les FE que chez les nulligestes. L'AHI diminue au fur et à mesure que la grossesse avance. Diminution significative de la hauteur de l'arche avec ajout de poids.	Le fait que pour un même poids supporté au niveau des pieds ces changements anthropométriques soient différents que la femme soit enceinte ou nulligeste indique que des facteurs autres que le poids sont impliqués dans ces changements.
				Lors des mesures, les femmes portaient un poids sur la partie antérieure du tronc, calculé de manière à ce que le poids total corresponde au poids atteint au 3 ^e trimestre de grossesse.			Index de rigidité des ALM	
Effect of pregnancy and obesity on arch of foot	Dunn J, Dunn C, Habbu R, Bohay D, Anderson J	2012	110 femmes en tout.	Comparaison de l'évolution de la pointure entre le GE et le GT et en fonction de l'IMC. GT : 40 femmes nulligestes d'âge moyen de 50,6 +/- 1,0. GE : 70 femmes ayant été enceintes au moins une fois il y a plus de 10 ans	Pointure	Questionnaire : Changement de pointure dans le temps : Dans le GE : avant la première grossesse, juste après la première grossesse, juste après leur dernière grossesse et leur pointure actuelle (au moins 10 ans depuis la dernière grossesse). Dans le GT : leur pointure actuelle et celle qu'elles faisaient à leurs 18 ans.	Pas une différence significative entre GT et GE mais tendance cliniquement observable. Ce serait peut-être statistiquement significatif avec un nombre plus important de femmes. Augmentation significative de pointure entre femmes ayant été enceinte au moins une fois il y a plus de 10 ans obèses et femmes nulligestes non obèses.	Le nombre de grossesse(s) dans le GE n'a pas été pris en compte, or cela aurait été intéressant car les hormones de la grossesse ont des répercussions sur les pieds et sur l'IMC. L'âge constituait une différence significative entre les deux groupes.

			<p>d'âge moyen de 54,6 +/- 0,8.</p> <p>Ces deux groupes ont ensuite été stratifiés en fonction de leur IMC : un groupe obèse (IMC > ou = 30) et un groupe non obèse (IMC < 30) :</p> <p>Groupe obèse : 29 dans le groupe testé et 16 dans le groupe contrôle (45 en tout)</p> <p>Groupe non obèse : 41 dans le groupe test et 24 dans le groupe contrôle (65 en tout).</p>				
--	--	--	--	--	--	--	--

Pregnancy Leads to Lasting Changes in Foot Structure	Segal NA, Boyer ER, Teran-Yengle P, Glass NA, Hillstrom HJ, Yack HJ	2013	49 FE entre 18 et 40 ans. Partagées en 3 groupes : 1 ^{ère} grossesse/ 2 ^e grossesse/ 3 ^e grossesse et plus	Comparaison des valeurs pendant le 1 ^{er} semestre et à 19 semaines postpartum. Comparaison des valeurs entre les trois groupes.	Hauteur des ALM	Repère placé au milieu de l'axe de la longueur du pied, mesure de la distance entre ce point et le dos du pied. Calcul AHI (hauteur / longueur tronquée en ipsilatéral (donc en médial).	Diminution significative de la hauteur. Affaissement de l'arche chez 35 femmes / 49 entre le début de la grossesse et le post-partum.	Etude longitudinale. Les modifications sont plus significatives pour la première grossesse.
					Longueur et longueur tronquée des pieds	Longueur : distance entre l'extrémité distale de l'hallux et l'extrémité postérieure du talon. Longueur tronquée : distance entre l'articulation métatarso-phalangienne de l'hallux et extrémité postérieure du talon.	Augmentation de la longueur du pied supérieure à 10mm chez 30 femmes / 49 entre le début de la grossesse et le post-partum. Jusqu'à 5 mois post-partum, pas de retour aux valeurs de base	
					Index de rigidité des ALM	Mesures AHI anthropométriques debout (en portant le poids) / assis (sans porter le poids). Le but est de mesurer l'ordre de grandeur d'affaissement de la voûte et de la rigidité de l'arche en divisant les 2 mesures.	Diminution significative de l'indice de rigidité entre le début de la grossesse et le post-partum.	
Correlation between Foot Arch Index and the Intensity of Foot, Knee, and Lower Back Pain among Pregnant Women in a South-Eastern Nigerian Community	Ojukwu CP, Anyanwu EG, Nwafor GG	2017	215 FE nigériennes âgées entre 18 et 40 ans.	Comparaison de la mesure d'AHI aux normes puis corrélation à l'intensité des douleurs de pieds, genoux et lombaires chez des FE de la communauté du sud-est du Niger.	AHI	Mesure par empreinte plantaire.	Valeur moyenne de l'AHI des pieds droits : 0,27 +/- 0,71 Valeur moyenne de l'AHI des pieds gauches : 0,28 +/- 0,69. Les valeurs d'AHI indiquant une arche basse étant > 0,27, la valeur moyenne des pieds droits et gauches indique des arches basses. 57,2% des FE avaient une ALM droite basse et 59,9% avaient une ALM gauche basse.	La majorité des femmes (57,5% d'entre elles) ont été évaluée au cours du 3 ^e trimestre de grossesse.

Lower extremity changes experienced during pregnancy	Ponnapala P, Boberg JS	2010	100 femmes en postpartum (ayant accouché depuis moins de 5 jours) âgées de plus de 18 ans	Recherches des changements intervenant pendant la grossesse touchant les MI par le moyen d'interviews questionnant sur les changements dermatologiques, vasculaires, neurologiques et musculo-squelettiques. Le questionnaire interroge sur la présence de symptômes pendant et avant la grossesse pour comparer les deux périodes.	Pointure	Questionnaires écrits distribués entre septembre et décembre 2009. Les auteurs ne décrivent pas comment les critères de jugement ont été mesurés.	Augmentation de la pointure chez 44% (en moyenne augmentation de la taille de 0,4).	Il y a un manque de précision concernant la mesure des critères de jugements. Le questionnaire est présenté, mais pas les autres moyens de mesures. Les auteurs ne précisent pas s'il y a une modification entre le pré-partum et le post-partum, ni à quel moment les femmes ressentiaient ces douleurs.
					Largeur des pieds		Augmentation de la largeur des pieds chez 78% des femmes en postpartum par rapport au pré-partum. Pas de modifications dans le reste de la population étudiée.	
					Longueur des pieds		Augmentation de la longueur des pieds chez 29% des femmes en postpartum par rapport au pré-partum. Pas de modifications dans le reste de la population étudiée.	
					Hauteur de l'ALM		Diminution de la hauteur de l'ALM chez 17% des femmes en postpartum par rapport au pré-partum. Pas de modifications dans le reste de la population étudiée.	
					Douleur au niveau des pieds		Douleur au niveau des pieds chez 42% des femmes interrogées. Absence de douleur dans le reste de la population étudiée.	
					Douleur de jambe ou crampes		Douleur au niveau des jambes chez 41% des femmes interrogées. Absence de douleur dans le reste de la population étudiée.	
					Douleur de genoux		Douleur au niveau des genoux chez 22% des femmes interrogées. Absence de douleur dans le reste de la population étudiée.	
					Douleur de hanche		Douleur au niveau des pieds chez 64% des femmes interrogées. Absence de douleur dans le reste de la population étudiée.	
					Amplitude		Augmentation de la largeur des pieds chez 24% des femmes en postpartum par rapport au pré-	

					articulaire de l'articulation métatarsophalangienne du 1 ^{er} rayon		partum. Diminution chez 2% des femmes en postpartum par rapport au pré-partum. Pas de modifications dans le reste de la population étudiée.	
--	--	--	--	--	--	--	---	--

Anthropometric foot changes during pregnancy: a pilot study	Gijon-Nogueron GA, Gavilan-Diaz M, Valle-Funes V, Jimenez-Cebrian AM, Cervera-Marin JA, Morales-Asencio JM	2013	10 FE d'au moins 12 semaines, âgées en moyenne de 29,5 ans +/- 6 ans, venant de la province de Malaga en Espagne.	Comparaison des mesures prises à la 12 ^e SG avec celles prises à la 24 ^e SG et celle prises à la 34 ^e SG.	Volume	Mesuré via le périmètre de l'avant-pied (au niveau des articulations métatarso-phalangiennes) et péri-malléolaire. Toujours entre 9h et 11h afin d'éviter les changements de volumes pendant la journée.	En moyenne, augmentation du périmètre de l'avant-pied de 1,26 cm et péri-malléolaire de 1,04 cm. Augmentation significative des deux périmètres (P=0,001).	Les mesures prises en décharge présentent plus de corrélation que celles prises en décharge. Population de petite taille.
					Pointure	Les auteurs n'expliquent pas comment la pointure a été déterminée.	En moyenne, augmentation de la pointure de 0,52.	
					Longueur des pieds	Distance entre le talon et l'hallux. Mesurée en charge et en décharge.	Augmentation de 18 mm de la longueur des pieds en décharge en moyenne. P<0,001	
					Largeur des avant-pieds	Distance entre la 1 ^{ère} et la 5 ^e articulation métatarso-phalangienne. Mesurée en charge et en décharge.	Augmentation de 5 mm de la largeur des avant-pieds en décharge en moyenne. P<0,001	
					Largeur du talon	Distance entre les points les plus proéminents dans la partie moyenne du talon. Mesurée en charge et en décharge.	Augmentation de 24 mm de la largeur des talons en décharge en moyenne. P<0,001	
					Hauteur des ALM	Verticale imaginaire entre le sol et le point le plus haut de l'ALM. Mesurée en charge et en décharge.	Diminution de la hauteur de l'ALM chez 95% des femmes entre la 12 ^e et la 34 ^e SG. Descente en moyenne de 0,65mm entre ces deux mesures (P<0,001).	
					FPI (Foot Posture Index)	Mesuré par 2 examinateurs connaissant bien cet index. Les auteurs n'expliquent pas comment le FPI est mesuré.	Augmentation de 3,78 points vers la pronation entre la 12 ^e et la 34 ^e SG. Changements significatifs tendant vers la pronation.	

ANNEXE II : tests de réductibilité du pied plat valgus

Le « Double and single heel rise » (Fig.1) et le « Jack's test » (Fig.2) sont des tests permettant de savoir si les déformations relevées lors du bilan visuel statique sont réductibles (1).

1. Le « Double and single heel rise »

Ce test permet de savoir si le valgus de l'arrière-pied observé en position debout statique est réductible. La consigne est de se mettre debout sur la pointe des pieds. Si l'arrière-pied est amené en varus, alors la déformation est réductible (Fig.). En appui bipodal, le déplacement en varus doit être symétrique. Dans le cas contraire, cela pourrait indiquer une insuffisance du TP, qui serait alors incapable d'inverser l'articulation subtalaire (2).

Le « single heel rise » (monter sur la pointe d'un seul pied) permet d'avantage d'évaluer la force musculaire et la fonction du tendon du TP (3).

Si les arrière-pieds ne sont pas varisés, cela peut aussi être à cause d'un déficit d'amplitude articulaire (2) (Fig.1).



Figure 1 : test du « Double heel rise » (Haendelmayer et Harris, 2009 (2))

La FD des orteils met en tension le fascia plantaire par le « windlass mechanism », ce qui restaure la hauteur de l'ALM dans le cas de PPVS (4).

2. Jack's test

Le « Jack's test » (Fig.2) consiste à faire une FD passive de l'articulation métatarso-phalangienne de l'hallux. L'ALM doit alors s'élever si le pied plat est souple (1,4). Le « Jack's test » met également en jeu le « windlass mechanism » (1).



Figure 2 : arche basse (A), restaurée par le « Jack's test » (B)

Bibliographie concernant les tests de réductibilité du pied plat valgus :

1. Papaliodis DN, Vanushkina MA, Richardson NG, DiPrea JA. The foot and ankle examination. *Medical Clinics of North America*. 1 mars 2014;98(2):181-204.
2. Thomas Haendlmayer K, John Harris N. Flatfoot deformity: an overview. *Orthopaedics and Trauma*. 1 déc 2009;23(6):395-403.
3. Lee MS, Vanore JV, Thomas JL, Catanzariti AR, Kogler G, Kravitz SR, et al. Diagnosis and treatment of adult flatfoot. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*. mars 2005;44(2):78-113.
4. Lever CJ, Hennessy MS. Adult flat foot deformity. *Orthopaedics and Trauma*. 1 févr 2016;30(1):41-50.

ANNEXE III : équations de recherches

Sur Medline : (((((((flatfoot[title/abstract] OR "flat foot"[title/abstract] OR "flat feet"[title/abstract] OR flatfeet[title/abstract] OR "pes planus"[title/abstract] OR "foot drop"[title/abstract] OR "navicular drop"[Title/Abstract] OR "longitudinal arch"[title/abstract] OR "foot arch"[title/abstract] OR "low arch"[Title/Abstract]))) AND ((("primary prevention"[Title/Abstract] OR "preventive medicine"[Title/Abstract] OR "health promotion"[Title/Abstract] OR "preventative medicine"[Title/Abstract] OR "preventive care"[Title/Abstract] OR "promotion of health"[Title/Abstract]) OR "Health Promotion"[Mesh] OR "physical therapy"[Title/Abstract] OR "physical therapies"[Title/Abstract] OR physiotherap*[Title/Abstract] OR rehabilitation[Title/Abstract] OR muscle*[Title]))) AND ("last 5 years"[PDat] AND Humans[Mesh] AND (English[lang] OR French[lang] OR German[lang])))) NOT ((sclerosis OR stroke OR neuropath* OR myopath* OR "spastic" OR "charcot" OR surgical[Title] OR surgery[Title] OR operative[Title] OR operation[Title] OR invasive[Title] OR orthos*[Title] OR orthoped*[Title] OR insoles[Title]))

Sur la Cochrane Library : « flatfeet OR flatfoot OR pes planus AND prevention NOT orthoses ».

Sur Science Direct : « flatfoot AND muscle » et « flatfoot AND prevention ».

ANNEXE IV : modèle de grille de lecture proposé par l'IFMK

Titre de l'article		
Auteurs/ revue/ année/ vol/ pages		
	DESCRIPTION	CRITIQUES ET COMMENTAIRES
INTRODUCTION		Les objectifs sont-ils clairement définis ? La question est-elle bien formulée et présente-t-elle les éléments du modèle PICO ?
Objectifs de l'étude/ question de recherche/ hypothèses de recherche		
MATERIEL ET METHODE		Le type de l'étude est-il approprié pour répondre à l'objectif de l'étude et vérifier les hypothèses ?
Type d'étude (étude de cas, transversale, diagnostique, interventionnelle...)		
Population (nb, critères d'inclusion / d'exclusion, groupe témoin...) / Groupe d'intervention, groupe de contrôle		La sélection des populations est-elle correcte et bien définie ? Y a-t-il eu randomisation ? Les groupes sont-ils comparables ? La taille de l'échantillon est-elle suffisante ? Il y a-t-il un diagramme de flux et présentation des perdus de vue ? Il y a-t-il des biais de sélection ?
Critères de jugement principal, critères de jugement secondaires		Les critères de jugement sont-ils pertinents, validés, fiables et tous utilisés ?
Protocole utilisé		Le protocole est-il adapté ? correctement présenté ? suffisamment détaillé ?
Analyses statistiques		Les analyses sont-elles adaptées ? Il y a-t-il des biais d'analyse ?
RESULTATS		Les résultats sont-ils cohérents avec les objectifs de l'étude ? Sont-ils clairement présentés ? Les biais sont-ils décrits et pris en compte ? Est-ce statistiquement significatif ? Est-ce cliniquement significatif ?
Présentation, précision et lisibilité des résultats (tableaux, figures, cohérence avec le texte, indices de dispersion...) / Mesures et statistiques		
DISCUSSION		Les résultats offrent-ils une réponse à la question ? Les auteurs discutent-ils de la signification statistique et clinique des résultats ? Les biais sont-ils discutés ? Les auteurs comparent leurs résultats avec les données de la littérature ?
Discussion et résultats, réponses à la question de recherche, justification des réponses		
Applicabilité et intérêt clinique		Les résultats sont-ils acceptables et appliqués à la population étudiée ? Sont-ils intéressants pour les pratiques quotidiennes en kinésithérapie ?
BIBLIOGRAPHIE		Les références sont-elles bien présentées ? Pertinentes ? Actualisées ?
RESUME		Le résumé est-il bien construit ? Présenté de manière objective ? Fidèle aux données de l'article ?
Niveau de preuve (selon HAS)/PEDro		

ANNEXE V : grilles de lecture complétées

N°	Auteur et année	Référence complète
1	Augustina 2019	Augustina SJ, Kamalakannan M, Thusharaa S, Dhajari C, Dhanalaksmi A. Influence of barefoot exercise in subjects with flat foot in pregnant women primiparous. <i>Drug Invent Today</i> . 2019;11(10):5.
2	Alam 2019	Alam F, Raza S, Moiz JA, Bhati P, Anwer S, Alghadir A. Effects of selective strengthening of tibialis posterior and stretching of iliopsoas on navicular drop, dynamic balance, and lower limb muscle activity in pronated feet: A randomized clinical trial. <i>Phys Sportsmed</i> . 2019;47(3):301-11.
3	Goo 2016 (1)	Goo Y-M, Kim T-H, Lim J-Y. The effects of gluteus maximus and abductor hallucis strengthening exercises for four weeks on navicular drop and lower extremity muscle activity during gait with flatfoot. <i>J Phys Ther Sci</i> . 2016;28(3):911-5.
4	Goo 2016 (2)	Goo Y-M, Kim D-Y, Kim T-H. The effects of hip external rotator exercises and toe-spread exercises on lower extremity muscle activities during stair-walking in subjects with pronated foot. <i>J Phys Ther Sci</i> . 2016;28(3):816-9.
5	Hashimoto 2014	Hashimoto T, Sakuraba K. 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>J Phys Ther Sci</i> . 2014;26(3):373-6.
6	Okamura 2020	Okamura K, Fukuda K, Oki S, Ono T, Tanaka S, Kanai S. Effects of plantar intrinsic foot muscle strengthening exercise on static and dynamic foot kinematics: A pilot randomized controlled single-blind trial in individuals with pes planus. <i>Gait Posture</i> . janv 2020;75:40-5.
7	Shiroshita 2019	Shiroshita T. Morphologic relationship between toe exercises and the medial longitudinal arch. 2019;9(5):6.
8	Sulowska 2016	Sulowska I, Oleksy Ł, Mika A, Bylina D, Sołtan J. 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>Buchowski M, éditeur. PLoS ONE</i> . 23 juin 2016;11(6).
9	Unver 2019	Unver B, Erdem EU, Akbas E. Effects of Short-Foot Exercises on foot posture, pain, disability, and plantar pressure in Pes Planus. <i>J Sport Rehabil</i> . 2019;1-5.
10	Mulchandini 2017	Mulchandani PA, Warude T, Pawar A. Effectiveness of gluteal muscle strengthening on flat foot. <i>Asian J Pharm Clin Res</i> . 1 juin 2017;10(6):219.
11	Ramachandra 2019	Ramachandra P, Kumar P, Kamath A, Maiya AG. Effect of intrinsic and extrinsic foot muscle strengthening exercises on foot parameters and foot dysfunctions in pregnant women: a randomised controlled trial. <i>Int J Ther Rehabil</i> . 2 févr 2019;26(2):1-11.

Titre de l'article : Influence of barefoot exercise in subjects with flat foot in pregnant women primiparous

Auteurs/revue/année/vol/pages : Augustina S.J. Kamalakannan M. Thusharaa S. Dhajari C. Dhanalaksmi A. Drug Invention Today. 2019. Volume 11, n°10, p. 5 à 9.

Description, critique et commentaire du contenu

INTRODUCTION

Contextualisation : durant la grossesse, la postériorisation du centre de gravité, l'augmentation de la laxité ligamentaire et le gain de poids semblent contribuer à une perte de hauteur de l'arche longitudinale médiale (ALM) et prédisposer à des douleurs musculosquelettiques. Il serait donc intéressant de lutter contre cet affaissement.

Objectifs : évaluer l'efficacité d'un programme d'exercices pieds nus pour augmenter la hauteur de l'ALM et entretenir la force des pieds chez des femmes primipares pendant la grossesse.

La problématique est bien exposée et les objectifs sont clairement définis.

MATERIEL ET METHODE

Type d'étude : série de cas.

Population :

40 femmes primipares entre le 2nd et 3^{ème} trimestre de grossesse ayant un pied plat acquis pendant la grossesse (le pied est considéré comme plat lorsque le ND test (Navicular Drop test) présente une valeur supérieure à 10mm.

Il s'agit d'une série de cas, donc pas de randomisation.

Les critères de non-inclusion et d'exclusion ne sont pas décrits. Il y a donc un biais de sélection modéré.

Critères de jugement : la chute du naviculaire (évaluée par le ND test). Le ND test est expliqué par les auteurs, c'est une évaluation pertinente, validée, fiable et reproductible.

Protocole utilisé

Les exercices sont réalisés pieds nus, par répétitions de 10 à 15 mouvements 2 fois par jour, 3 jours par semaine, pendant 4 semaines. Le protocole comprend les techniques suivantes : exercices de renforcement des muscles soutenant l'ALM, « toe curls », étirement des triceps suraux et du fascia plantaire, cercles de chevilles et renforcement des muscles intrinsèques plantaires.

Une technique de relaxation est mise en place après les techniques pour prévenir la fatigue.

Comparaison des valeurs du ND test prises avant et après réalisation du protocole. Une différence entre ces mesures supérieure à 10mm est considérée comme significative par les auteurs.

Le protocole est adapté et correctement présenté. Les techniques sont suffisamment détaillées. Il manque cependant des illustrations qui permettraient une meilleure clarté des exercices.

Analyses statistiques :

Le test t apparié, ou test de Student est utilisé pour analyser les changements significatifs. $P < 0,0001$ est considéré comme statistiquement significatif.

RESULTATS

Les résultats sont statistiquement significatifs ($P=0,0001$) mais peu de précisions sont données.

2 graphiques présentent les moyennes et écart-types des mesures prises avant et après le protocole. Un graphique pour les pieds droits et un graphique pour les pieds gauches.

Les résultats sont cohérents avec les objectifs de l'étude, cependant, quelques critiques peuvent être émises :

- Il n'y a pas de partie consacrée aux résultats, ils sont présentés dans la partie des analyses statistiques.
- Les graphiques sont placés dans la partie expliquant le protocole, alors que les auteurs n'en parlent que dans la partie des analyses statistiques, il aurait donc été plus claire de les mettre dans cette partie.
- Les mesures ne sont pas présentées en détail, il n'y a que les valeurs moyennes et les écart-types des mesures du ND test pour chaque mesure (pour les mesures avant et après pour le pied droit et pour le pied gauche séparément). Les valeurs extrêmes et les quantiles ne sont pas indiqués.
- Les biais ne sont pas décrits et non pris en compte.

DISCUSSION

Les exercices pieds nus sont efficaces pour augmenter la hauteur de l'ALM chez des femmes primigestes. L'hypothèse de départ est confirmée.

Le protocole n'est pas réalisé en aveugle : les femmes sont informées des tenants et aboutissants de l'étude avant la mise en place du protocole. Nous ne savons pas si les examinateurs réalisent les mesures en aveugle. Il y a donc un haut risque de biais de performance.

Les résultats répondent à la question de recherche et justifient la conclusion.

Les auteurs ne discutent pas de la signification statistique et clinique des résultats. Ils ne relèvent pas les biais.

Il aurait été intéressant de comparer les valeurs du ND test mesurées à celles retrouvées dans la littérature pour les mêmes périodes de grossesse.

Applicabilité et intérêt clinique :

Les exercices proposés sont simples à mettre en place et ne demandent pas d'équipement particulier. Ils sont intéressants pour la pratique en kinésithérapie, ils permettraient de prévenir l'affaissement de l'ALM chez les femmes primigestes facilement.

BIBLIOGRAPHIE

24 sources sont citées. Les références son bien présentées et pertinentes. Certaines références sont cependant anciennes (1985, 1988, 1997...).

RESUME

Contextualisation puis exposition de l'objectif de l'étude.

Le protocole utilisé n'est pas détaillé.

Les résultats sont présentés mais les chiffres ne sont pas donnés.

Le résumé suit le plan IMRAD mais pas l'article dans lequel il manque la partie résultat.

Le résumé est fidèle aux données de l'article.

Niveau de preuve et gradation (selon la HAS)

Niveau de preuve 4 (faible niveau de preuve) et grade C selon la HAS (série de cas).

Titre de l'article : Effects of selective strengthening of tibialis posterior and stretching of iliopsoas on navicular drop, dynamic balance, and lower limb muscle activity in pronated feet: A randomized clinical trial

Auteurs/revue/année/vol/pages : Alam F, Raza S, Moiz JA, Bhati P, Anwer S, Alghadir A. The Physician and Sportsmedicine. 2019. Volume 47, n°3, p. 301 à 311.

Description, critique et commentaire du contenu

INTRODUCTION

Les auteurs contextualisent puis donnent l'objectif de l'étude.

Objectif : analyser les effets d'un renforcement analytique du muscle tibial postérieur (TP) associé à l'étirement de l'iliopsoas en plus du « Towel Curl Exercise » (TCE) sur la chute du naviculaire, l'équilibre dynamique et l'activité musculaire des membres inférieurs (MI) chez de jeunes adultes avec des pieds pronateurs.

MATERIEL ET METHODE

Type d'étude : essai clinique randomisé de forte puissance, en simple aveugle.

Population :

28 étudiants, âgés de 18 à 26 ans, avec des pieds pronateurs bilatéraux mais n'utilisant pas d'orthèse.

Groupe expérimental : n = 14 (renforcement TP et étirement iliopsoas + TCE)

Groupe témoin : n = 14 (TCE seulement)

Le risque de biais de sélection est faible car :

- Les critères d'inclusion et d'exclusion sont clairement définis.
- La répartition des sujets entre le groupe expérimental et le groupe témoin est randomisée.
- Les groupes sont comparables.
- La taille de l'échantillon nécessaire a été déterminée avant la sélection, elle est suffisante.

Le risque de biais d'attrition est faible également. Il y a notamment un diagramme de flux présentant les perdus de vue (aucun perdu de vue), il s'agit du « CONSORT flow diagram ».

Critères de jugement :

Les critères de jugements sont :

- la chute du naviculaire (mesurée par le ND test (Navicular Drop test)),
- l'équilibre dynamique (évaluée via le Y-balance test),
- l'activité musculaire du tibial antérieur (TA) et de l'abducteur de l'hallux (ABDH).

Les critères de jugements sont évalués avant et après l'intervention.

Chaque critère de jugement est bien décrit et reproductible. Ils sont pertinents, validés, fiables et tous utilisés.

Protocole utilisé :

Le groupe témoin (GT) réalise le TCE 3 fois par semaine pendant 6 semaines.

Le groupe expérimental (GE) réalise des exercices de renforcement du TP et des étirements de l'iliopsoas 3 fois par semaine pendant 6 semaines en plus du TCE.

Chaque technique réalisée est détaillée.

Le protocole est adapté, correctement présenté (photographies et explications écrites) et suffisamment détaillé.

L'évaluateur réalise les mesures en aveugle. Son maintien n'est pas décrit.

Analyses statistiques :

Les deux groupes sont comparables (pas de différences statistiquement significatives entre les deux).

Les analyses statistiques sont bien détaillées.

RESULTATS

Dans les deux groupes la chute du naviculaire a diminué significativement au niveau du membre dominant et du membre non dominant. Le GE présente une diminution de la chute plus importante que le GT.

Dans le GE, l'activité musculaire du TA a plus diminué, et celle de l'ABDH a plus augmenté par rapport à celle mesurée chez le GT.

L'équilibre dynamique est évaluée par le Y-balance test. Les sujets du GE atteignent de plus grandes distances que les sujets du GT.

Conclusion : le renforcement analytique du TP associé à l'étirement de l'iliopsoas et au TCE permet d'élever le naviculaire, d'améliorer l'équilibre dynamique et l'activité musculaire du TA et de l'ABDH chez les sujets présentant des pieds plats asymptomatiques.

Les résultats sont cohérents avec les objectifs de l'étude.

DISCUSSION

Justification des choix :

Les auteurs justifient leur choix de renforcer le TP et d'étirer l'iliopsoas :

- explication du rôle du TP dans le maintien de l'arche longitudinale médiale (ALM).
- explication du lien entre une hypoextensibilité de l'iliopsoas et les pieds plats.

Les auteurs expliquent pourquoi ils ont choisi de mesurer l'activité musculaire du TA et de l'ABDH : chez les sujets avec des pieds plats, une augmentation de l'activité musculaire du TA et une diminution de l'activité musculaire de l'ABDH sont observées.

Discussion et comparaison des résultats de chaque critère de jugement avec les données de la littérature :

L'équilibre dynamique est le critère de jugement amenant le plus de discussion :

L'équilibre dynamique est évaluée par le Y-balance test. Les sujets du GE atteignent de plus grandes distances que les sujets du GT.

Les auteurs excluent le fait que les résultats de l'Y-balance test puissent être attribués à l'apprentissage. Les auteurs supposent que l'amélioration de l'équilibre dynamique peut contribuer à l'élévation de l'ALM, ce qui serait cohérent avec les données de la littérature.

Le gain de distance antérieure avec le Y-balance test est moins important que celui dans les autres directions. D'autres auteurs avaient déjà observé que les sujets avec des pieds pronateurs atteignaient une plus grande distance antérieure que les sujets ayant des pieds neutres ou supinateurs. Cela s'explique par le fait que lorsque les pieds sont pronateurs, l'instabilité est moins importante pour atteindre une distance antérieure. L'augmentation des distances en postéro-médial et en postéro-latéral pourrait aussi être due à l'augmentation d'amplitude de hanche permise par l'étirement de l'iliopsoas et à l'amélioration de la proprioception grâce à cet étirement.

Limites de l'étude d'après les auteurs :

- Seul le ND test a été utilisé pour évaluer la pronation du pied.
- Il n'y a pas eu de suivi après la réalisation du protocole, nous ne pouvons donc pas connaître la durabilité des effets de celui-ci.
- Seuls des sujets asymptomatiques ont participé à l'étude, on ne peut donc pas étendre ces résultats à une population symptomatique.

Futures recherches :

Les auteurs encouragent de futures recherches ciblant des sujets symptomatiques, en détaillant plus précisément l'analyse cinématique de la marche. Il faudrait aussi utiliser des évaluations reflétant plus la fonctionnalité du pied que le ND test.

La discussion est bien menée et reprend les éléments importants.

Applicabilité et intérêt clinique :

Les résultats sont acceptables et applicables à la population étudiée. Ils ne peuvent cependant pas être généralisés à une population ayant des pieds plats symptomatiques.

Ils sont intéressants pour les pratiques quotidiennes en kinésithérapie. Les exercices proposés sont réalisables facilement, sans matériel.

BIBLIOGRAPHIE

66 sources sont citées, la bibliographie est donc fournie. Les références sont bien présentées et pertinentes.

RESUME

Le résumé contextualise, présente les objectifs de l'étude et explique la sélection de la population et le protocole. Il présente les chiffres clés des résultats.

Le résumé ne suit pas le plan IMRAD mais respecte la checklist de CONSORT concernant les abstracts.

Niveau de preuve et gradation (selon la HAS) / Grille CONSORT

Niveau de preuve 1 et de grade A selon la HAS (essai comparatif randomisé de forte puissance). 25 items de la grille CONSORT sont validés, ce qui est un très bon score. Les auteurs ont suivi la déclaration CONSORT pour leur étude.

Titre de l'article : The effects of gluteus maximus and abductor hallucis strengthening exercises for four weeks on navicular drop and lower extremity muscle activity during gait with flatfoot

Auteurs/revue/année/vol/pages : Goo Y-M, Kim T-H, Lim J-Y. J Phys Ther Sci. 2016. Volume 28, n°3, p. 911 à 1005.

Description, critique et commentaire du contenu

INTRODUCTION

Explication de l'implication du grand fessier (GF) et de l'abducteur de l'hallux (ABDH) dans les déformations plantaires puis explication rapide du protocole.

Objectif décrit dans l'introduction : analyser l'efficacité d'exercices de renforcement de l'ABDH et du GF pour renforcer l'arche longitudinale médiale (ALM) en analysant l'activité musculaire des membres inférieurs (MI) par électromyographie (EMG).

MATERIEL ET METHODE

Type d'étude : étude comparative randomisée de faible puissance.

Population :

18 adultes présentant un pied pronateur (critère : le ND test (navicular drop test) doit être > 10mm).

Groupe expérimental : n = 9 (renforcement du GF et de l'ABDH).

Groupe témoin : n = 9 (renforcement de l'ABDH seulement).

Les critères d'inclusion et d'exclusion sont présentés.

Randomisation réalisée.

Dans le groupe témoin (GT), les participants pèsent en moyenne 5 kg de plus que les participants du groupe expérimental (GE), après calcul, leur IMC est supérieur d'1kg/m². La valeur p n'a pas été calculée par les auteurs et nous n'avons pas toutes les valeurs permettant ce calcul, donc nous ne pouvons pas savoir si la différence est significative. Une augmentation de l'IMC favorisant l'affaissement de l'ALM, cet élément peut être considéré comme un facteur de confusion car peut influencer l'issue de l'essai.

L'étude présente un haut risque de biais de sélection pour les raisons suivantes :

- Les auteurs ne donnent pas d'informations permettant de savoir si les groupes sont homogènes.
- C'est seulement dans la discussion que nous apprenons qu'une randomisation a été réalisée et la méthode de répartition aléatoire n'est pas du tout décrite.
- Nous ne savons pas si la taille de l'échantillon a été anticipée avant la mise en place du protocole pour tendre vers la significativité des résultats.

Le nombre de sujets dans chaque groupe n'est pas présenté dans le texte de la partie matériel et méthode, mais seulement dans les tableaux et dans la discussion.

A priori il n'y a pas de perdus de vue, mais il manque un diagramme de flux présentant cela.

Critères de jugement :

Critère de jugement principal : l'activité musculaire des MI pendant la marche. L'activité des muscles suivants est enregistrée par EMG : du GF, du vaste médial (VM), du tibial antérieur (TA) et de l'ABDH. La mise en place des électrodes et le recueil des valeurs mesurées sont détaillés.

Critère de jugement secondaire : la chute du naviculaire, mesurée par le ND test, qui est fiable et validé. La réalisation du ND test n'est cependant pas décrite, ce qui peut présenter un biais d'évaluation.

Critères mesurés avant et après le protocole dans les deux groupes.

Protocole utilisé :

Groupe expérimental : renforcement du GF et de l'ABDH.

Groupe témoin : renforcement de l'ABDH seulement.

Exercice réalisé par les deux groupes : le « Toe Spread » (TS) (pour le renforcement de l'ABDH) : 100 répétitions.

Exercice réalisé en plus par le GE seulement : exercice de renforcement du GF : 3 séries de 20 répétitions.

Et ceci 5 fois par semaine (3 fois dans le laboratoire et 2 fois à domicile) pendant 4 semaines.

Comparaison de l'activité musculaire des MI pendant la marche et de la chute du naviculaire entre les deux groupes et au sein d'un même groupe avant et après le protocole.

L'exercice TS n'est pas du tout décrit. Seule la position de la hanche pendant l'exercice est indiquée.

La description de l'exercice de renforcement du GF est présente dans l'introduction. Elle aurait été mieux placée dans la description du protocole pour plus de clarté.

Analyses statistiques :

Utilisation du logiciel de statistique SPSS, version 18.0

Pour comparer les groupes avant et après réalisation du protocole, le test t pour échantillons indépendants a été utilisé.

Pour comparer les mesures EMG recueillies d'un même groupe avant et après réalisation du protocole, le test t paire est utilisé.

RESULTATS

Comparaison des valeurs des critères de jugement avant/après le protocole :

- Dans le GE, l'activité musculaire du GF et du VM augmente significativement pendant l'attaque du talon tandis que l'activité musculaire de l'ABDH diminue significativement lors du décollement des orteils.
- Dans le GT, seule la diminution de l'activité musculaire de l'ABDH est significative.

Comparaison des valeurs des critères de jugement des deux groupes après le protocole :

- Il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes concernant l'EMG de l'activité musculaire.
- La chute du naviculaire est significativement moins importante dans le GE que dans le GT.

Conclusion : Les auteurs suggèrent qu'un renforcement du GF ajouté à d'autres exercices corrigeant le pied pronateur est efficace pour parvenir à une marche correcte lorsque les pieds sont pronateurs. Dans la discussion, la conclusion des auteurs est qu'il semble que l'association d'un renforcement du GF et de l'exercice TS soit plus efficace pour corriger l'affaissement de l'ALM que la réalisation de l'exercice TS seul.

L'objectif de l'étude n'est pas clairement défini tout au long de l'article. De ce fait, il est difficile de savoir si les différentes conclusions y répondent convenablement.

DISCUSSION

Les auteurs parlent d'autres méthodes pour corriger la hauteur de l'ALM (l'utilisation de semelles orthopédiques et de tape).

Pour être inclus, les sujets devaient présenter un ND > 10mm. Les auteurs le justifient : c'est à partir de cette valeur que le pied est considéré comme pronateur.

La chute du naviculaire diminue plus dans le GE que dans le GT. Les auteurs suggèrent que c'est grâce à l'action de rotation latérale de hanche du G qui permet de rétablir l'alignement des MI et ainsi de réduire la pronation du pied.

Les auteurs comparent les résultats de l'activité musculaire à ceux retrouvés lors de la marche normale : l'activité musculaire enregistrée lors de la marche des sujets du GE est plus proche de l'activité musculaire enregistrée au cours de la marche normale que celle enregistrée dans le GT. Ceci aurait pu plutôt apparaître dans les résultats avant l'écriture de la conclusion pour une meilleure compréhension.

Limites de l'étude d'après les auteurs :

- Le ND test n'est pas suffisant pour déterminer si le pied est pronateur.
- La taille de l'échantillon n'est pas assez importante pour généraliser.
- Bien que l'ABDH soit le muscle le plus superficiel de la plante du pied, l'enregistrement EMG peut être parasité par les muscles intrinsèques et extrinsèques dans la même zone.
- Il n'y a pas de suivi au long terme.

Les auteurs encouragent de futures recherches qui devraient prendre en compte les limites citées ci-dessus et réaliser des analyses du mouvement et des radiographies pour étudier les diverses méthodes de corrections de l'ALM.

Les auteurs ne discutent pas des biais de leur étude.

Les auteurs ne comparent pas leurs résultats aux données de la littérature.

Il manque une partie conclusion à cet article. Ils concluent seulement sur leurs résultats dans la partie résultats.

Applicabilité et intérêt clinique :

Les exercices proposés sont applicables à des sujets présentant des pieds pronateurs. Ils semblent avoir un effet bénéfique pour diminuer la chute du naviculaire et rapprocher l'activité musculaire enregistrée chez des sujets avec des pieds pronateurs de celle retrouvée normalement. Les exercices ne demandent pas de matériel et leur mise en place est facile en kinésithérapie.

BIBLIOGRAPHIE

Seulement 16 références (peu). Les références sont bien présentées.

RESUME

Le résumé présente l'objectif de l'étude sans détails.

A la lecture du résumé, le but de l'étude n'est pas clair. Le lecteur ne sait pas si le but de l'étude est d'analyser l'efficacité du renforcement musculaire sur la chute du naviculaire et l'activité musculaire ou sur la marche. L'objectif de l'étude n'est pas clairement défini dans le résumé. Il l'est dans l'introduction.

Les critères de jugements ne sont pas clairement indiqués.

Dans la partie résultats du résumé, aucun chiffre n'est donné.

Le résumé ne suit pas le plan IMRAD et ne respecte que peu de points de la liste de contrôle CONSORT pour les abstracts (seulement 5/16).

Niveau de preuve et gradation (selon la HAS) / Grille CONSORT

Niveau de preuve 4 et de grade C selon la HAS (étude comparative comportant des biais importants).
8 items validés seulement dans les lignes directrices CONSORT.

Titre de l'article : The effects of hip external rotator exercises and toe-spread exercises on lower extremity muscle activities during stair-walking in subjects with pronated foot

Auteurs/revue/année/vol/pages : Goo Y-M, Kim D-Y, Kim T-H. J Phys Ther Sci. 2016. Volume 28, n°3, pages 816 à 909.

Description, critique et commentaire du contenu

INTRODUCTION

Les auteurs parlent des rôles des pieds, puis de l'arche longitudinale médiale (ALM) en particulier. Ils définissent ensuite le pied plat puis expliquent que la faiblesse des muscles plantaires et des rotateurs latéraux (RL) de hanche peuvent en être la cause. Les auteurs décrivent l'exercice de renforcement des RL de hanche. Ils justifient ensuite le choix de l'exercice du « Toe Spread » (TS) pour renforcer l'abducteur de l'hallux (ABDH), mais sans le détailler.

Objectif : étudier les effets du renforcement des rotateurs latéraux de hanche associé à l'exercice TS sur l'activité musculaire des membre inférieurs (MI) lors de la montée et descente d'escaliers, et secondairement sur la chute du naviculaire chez des sujets avec des pieds pronateurs.

L'objectif est clairement défini mais la question de recherche n'est pas formulée.

MATERIEL ET METHODE

Type d'étude : Essai comparatif non randomisé.

Le type de l'étude est approprié pour répondre à l'objectif de l'étude et vérifier les hypothèses mais elle comporte beaucoup de biais.

Population :

20 adultes sains ne présentant pas d'antécédent de chirurgie de la cheville ou du pied ni de déformations plantaires. Ils doivent avoir des pieds pronateurs.

Répartis en 2 groupes :

Groupe expérimental : n = 10 (renforcement des RL de hanche et exercice TS).

Groupe témoin : n = 10 (exercice TS seulement).

Le consentement écrit des participants a été recueilli.

Dans le groupe témoin (GT), les participants pèsent en moyenne 4 kg de plus que les participants du groupe expérimental (GE). Après calcul, leur IMC est supérieur d'1kg/m² environ. La valeur p n'a pas été calculée par les auteurs et nous n'avons pas toutes les valeurs permettant ce calcul, donc nous ne pouvons pas savoir si la différence est significative. Une augmentation de l'IMC favorisant l'affaissement de l'ALM, cet élément peut être considéré comme un facteur de confusion car peut influencer l'issue de l'essai.

L'étude présente un haut risque de biais de sélection pour les raisons suivantes :

- Nous ne savons pas si la taille de l'échantillon a été anticipée avant la mise en place du protocole pour tendre vers la significativité des résultats.
- Il n'y a pas de randomisation.
- La présence de douleur est un critère d'exclusion décrit dans le résumé, mais il n'apparaît pas dans la partie « Matériel et méthode ».

Les déformations plantaires sont un critère d'exclusion, or les pieds pronateurs sont des déformations et l'objectif de l'étude est d'évaluer l'effet du renforcement musculaire sur les pieds pronateurs. Il y a donc une contradiction ici.

A priori il n'y a pas de perdus de vue, mais il manque un diagramme de flux présentant cela.

Critères de jugement :

Critère de jugement principal : l'activité musculaire des muscles suivants : du grand fessier (GF), du vaste médial (VM), du tibial antérieur (TA) et de l'ABDH. Elle a été mesurée par électromyographie (EMG) de surface. Pour séparer les phases de mise en charge et pouvoir les analyser, des capteurs plantaires ont été placés au centre du talon et sous les têtes du 1^{er} et du 5^{ème} métatarsien. L'activité musculaire a été mesurée avant et après mise en place du protocole dans chaque groupe.

Critère de jugement secondaire : le ND test est réalisé avant et après le protocole.

Le placement des électrodes et la réalisation du ND test ne sont pas décrits, ce qui peut créer un biais d'évaluation. Nous ne pourrions pas reproduire ces mesures car il manque des informations pour cela.

Protocole utilisé :

Groupe expérimental : 3 séries de 20 répétitions de l'exercice de renforcement des RL de hanche et 100 répétitions de l'exercice TS.

Groupe témoin : 100 répétitions de l'exercice TS.

Exercices réalisés 5 fois par semaine pendant 4 semaines : 2 fois par semaine à domicile et 3 fois par semaine dans le laboratoire.

L'exercice de renforcement des RL de hanche est expliqué dans l'introduction. L'exercice du TS ne l'est pas du tout.

Le protocole n'est pas suffisamment détaillé.

Analyses statistiques :

Les valeurs électromyographiques mesurées ont été normalisées par rapport à la valeur de la contraction volontaire maximale. Le test t paire a été utilisé pour analyser les modifications de l'activité musculaire lors de la montée et de la descente des escaliers.

Les valeurs moyennes du ND test ont été comparées en utilisant un test t indépendant.

RESULTATS

Le GE présente une chute du naviculaire significativement moins importante que le GT après réalisation du protocole.

Comparaison des mesures électromyographiques avant/après réalisation du protocole :

- Dans les deux groupes, l'activité de l'ABDH augmente lors de la descente et de la montée des escaliers.
- Dans le GE seulement, l'activité du VM augmente pour la montée des escaliers.

Les auteurs concluent que la marche dans les escaliers semble plus efficace après avoir effectué le protocole de renforcement musculaire de l'ABDH associé à celui des RL de hanche qu'après avoir réalisé le protocole de renforcement de l'ABDH seulement.

Les résultats sont cohérents avec les objectifs de l'étude.

Les biais ne sont pas décrits ni pris en compte.

L'objectif de l'étude énoncé dans l'introduction était de connaître les effets d'un renforcement musculaire des RL de hanche et de l'ABDH sur les pieds pronateurs. Au cours de l'étude et dans la conclusion il s'agit plutôt d'une comparaison des effets entre le groupe ayant réalisé les deux exercices et celui n'ayant réalisé que l'exercice du TS.

DISCUSSION

Les auteurs expliquent les répercussions ascendantes des pieds plats puis justifient leur choix de renforcer les RL de hanche chez des sujets ayant des pieds pronateurs et la mesure de l'activité musculaire du vaste médial.

Les auteurs ne discutent pas de la signification statistique et clinique des résultats.

Ils ne discutent pas des biais ni des limites de l'étude.

Applicabilité et intérêt clinique :

L'article présente un intérêt car il montre que le renforcement des RL de hanche et la réalisation de l'exercice TS sont efficaces pour lutter contre la chute du naviculaire et améliorer l'activité musculaire des MI lors de la montée et descente d'escaliers. Nous pouvons supposer que l'activité musculaire sera alors améliorée dans d'autres mouvements. Les résultats sont intéressants pour les pratiques quotidiennes en kinésithérapie.

BIBLIOGRAPHIE

15 sources citées (peu), bien présentées.

RESUME

L'objectif défini dans le résumé est vague : étudier les effets de l'exercice TS et du renforcement des RL de hanche sur les pieds pronateurs pendant la marche dans les escaliers.

L'objectif de l'étude n'est pas clairement défini dans le résumé. Il l'est dans l'introduction.

Le résumé ne suit pas le plan IMRAD.

Niveau de preuve et gradation (selon la HAS)

Un niveau de preuve 4 et de grade C peuvent être attribués selon la HAS (étude comparative comportant des biais importants).

Titre de l'article : 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
Auteurs/revue/année/vol/pages : Hashimoto T, Sakuraba K. J Phys Ther Sci. 2014. Volume 26, n°3, p. 373 à 376.

Description, critique et commentaire du contenu

INTRODUCTION

Explication des rôles du pied et de l'intérêt de l'étude. Les auteurs décident de renforcer les muscles intrinsèques plantaires isolément des extrinsèques, ce qui n'avait pas été fait auparavant.

Objectif : étudier les effets du renforcement des muscles fléchisseurs intrinsèques du pied avec un nombre de répétitions et une charge définie sur la force musculaire, la forme des arches plantaires et certains paramètres dynamiques (le saut en longueur sur une jambe, le saut en hauteur et le « 50m dash time »).

MATERIEL ET METHODE

Type d'étude : série de cas.

Population :

12 hommes sains sans déformations plantaires.

Les critères d'inclusion et d'exclusion sont décrits.

Nous ne savons pas si la taille de l'échantillon a été anticipée avant la mise en place du protocole pour tendre vers la significativité des résultats.

Il n'y a pas de diagramme de flux présentant les perdus de vue, même s'il n'y en a pas à priori.

Critères de jugement :

- La force des muscles fléchisseurs intrinsèques plantaires (mesurée par un dynamomètre à poignée numérique),
- La longueur des arches plantaires (mesurée avec une empreinte plantaire),
- Des tests dynamiques :
 - o Saut en longueur sur une jambe,
 - o Saut en hauteur,
 - o « 50m dash time »

Les critères de jugement et leurs modalités sont décrits.

Protocole utilisé :

Flexion de tous les orteils contre une résistance de 3kg.

Une fois 200 répétitions par jour, trois fois dans la semaine pendant une période de 8 semaines.

Les critères de jugement sont mesurés avant et après le protocole et comparés.

Analyses statistiques : Elles ne sont pas du tout décrites. Il y a donc un biais d'analyse.

RESULTATS

Comparaison des mesures recueillies après l'entraînement par rapport à celles prises avant celui-ci :

- Augmentation significative de la force des muscles fléchisseurs intrinsèques du pied ($p < 0,01$),
- Diminution significative de la longueur des arches ($p < 0,01$),
- Amélioration significative des paramètres dynamiques :
 - Augmentation significative de la distance du saut en longueur sur une jambe ($p < 0,01$),
 - Augmentation significative de la hauteur du saut en hauteur ($p < 0,05$),

- Diminution significative du « 50-m dash time ».

Conclusion : le renforcement des muscles fléchisseurs intrinsèques plantaires a un effet significatif sur le score de force de ces muscles, la forme des arches plantaires et la performance dynamique.

DISCUSSION

Dans cette étude, les auteurs veulent tester un renforcement isolé des muscles fléchisseurs intrinsèques plantaires. Ils expliquent pourquoi et leur choix de l'exercice de renforcement pour y parvenir.

Pour mesurer la force des intrinsèques, les examinateurs ont utilisé un nouveau dispositif car il n'en existe pas. Ils trouvent une bonne reproductibilité inter-évaluateur et concluent que leur méthode de mesure est suffisamment fiable.

Les auteurs font le lien entre l'amélioration des critères de jugement et l'amélioration de la force des fléchisseurs intrinsèques plantaires en s'appuyant sur des données de la littérature. Le renforcement des muscles fléchisseurs intrinsèques plantaires permet notamment de raccourcir la longueur des arches. Cela s'explique par le fait que ce renforcement améliore la fonction de maintien des arches. Ils justifient cette explication en s'appuyant sur des données de la littérature.

Les auteurs n'excluent pas le fait que d'autres facteurs peuvent intervenir pour l'amélioration des critères de jugement dans leur étude tel que l'activité du quadriceps. Il pourrait aussi y avoir un effet d'apprentissage concernant les paramètres dynamiques. Les auteurs ne parlent pas de cette possibilité. Les auteurs parlent peu des biais de leur étude.

Il n'y a que 12 sujets participants à cette étude, ce qui est peu.

Les auteurs ne parlent pas de la signification statistique des résultats.

Applicabilité et intérêt clinique :

L'exercice de renforcement musculaire proposé ne demande pas de matériel et est compréhensible, donc facile à mettre en application. Le renforcement des muscles intrinsèques fléchisseurs plantaires peut être utile pour améliorer la marche et la performance dans des sports impliquant des sauts ou de la course.

BIBLIOGRAPHIE

18 sources sont citées. Les références sont bien présentées.

RESUME

Le résumé ne suit pas le plan IMRAD mais le contenu de l'article oui.

Le résumé comprend les informations essentielles, il est bien présenté et claire.

Niveau de preuve et gradation (selon la HAS)

Niveau de preuve 4 et grade C selon la HAS.

Titre de l'article : Effects of plantar intrinsic foot muscle strengthening exercise on static and dynamic foot kinematics: A pilot randomized controlled single-blind trial in individuals with pes planus.

Auteurs/revue/année/vol/pages : Okamura K, Fukuda K, Oki S, Ono T, Tanaka S, Kanai S. Gait & Posture. 2020. Volume 75, n°40.

Description, critique et commentaire du contenu

INTRODUCTION

Description du pied plat et des risques de blessures des membres inférieurs qu'il engendre. Explication de l'importance du soutien de l'arche longitudinale médiale (ALM). Les auteurs font un état des lieux de la littérature sur le sujet du maintien de l'ALM par le renforcement des muscles intrinsèques par le « Short Foot Exercise » (SFE) et expliquent ainsi l'intérêt de leur étude.

Objectif : déterminer les effets du SFE sur l'alignement statique du pied et sur la dynamique du pied pendant la marche chez des sujets ayant des pieds plats.

Hypothèse : le SFE permet d'améliorer efficacement la statique et la dynamique du pied chez des sujets ayant les pieds plats.

L'introduction contextualise bien le sujet. L'objectif et l'hypothèse de l'étude sont clairement définis.

MATERIEL ET METHODE

Type d'étude : essai contrôlé randomisé en simple aveugle.

Population :

20 participants ayant les pieds plats, 10 sujets dans chaque groupe.

La taille de l'échantillon a été prédéterminée.

Randomisation par Excel (mais peu détaillée).

Les critères d'inclusion et d'exclusion sont décrits.

Il y a des différences entre les moyennes des valeurs de départ des deux groupes :

- Dans le groupe témoin (GT), les participants ont un IMC supérieur de plus d'1 kg/m² à ceux du groupe expérimental (GE). Une augmentation de l'IMC favorisant l'affaissement de l'ALM, cet élément est à noter.
- Les valeurs de départ du FPI-6 et du « navicular drop test » (ND test) sont plus élevées dans le GE que dans le GT, indiquant que les sujets du GE ont des pieds plus pronateurs que les sujets du GT.

Ces éléments pourraient être considérés comme des facteurs de confusion, cependant, la p-value étant supérieur à 0,1 pour chacun de ces paramètres, la différence n'est pas statistiquement significative. Le biais de confusion est donc faible.

Un diagramme de flux basé sur le model CONSORT diminue le risque de biais d'attrition. De plus, certaines données sont expliquées dans la partie discussion.

Critères de jugement :

Critères de jugements principaux :

- La dynamique du pied pendant la marche :

- La chute du naviculaire en dynamique par le « dynamic navicular drop test » (DND). Le DND correspond à la différence entre la hauteur du naviculaire au moment du contact initial du pied avec le sol et sa hauteur minimale pendant la phase d'appui au cours de la marche.

Pour mesurer les paramètres de la marche, les investigateurs ont utilisé le système Vicon comportant des caméras et des plateformes afin de permettre une analyse tridimensionnelle.

- L'alignement du pied en statique :

- Comparaison de la fonction du pied à une normalité par le FPI-6 (index de posture du pied comportant 6 items),
- La chute du naviculaire par le ND test.

La mesure des critères de jugement du pied en statique n'est pas expliquée. Les auteurs informent seulement qu'ils ont été réalisés comme dans de précédentes études. C'est au lecteur d'aller regarder ces études pour savoir comment les mesures ont été prises. Les références citées correspondent aux articles d'origine de ces tests, le choix des références est donc pertinent. Le manque d'information laisse cependant un doute sur la manière dont les évaluations ont effectivement été réalisées.

Critères de jugement secondaires :

- Lors de la marche :
 - La durée de la phase d'appui,
 - La force de réaction du sol pendant la 2^{ème} partie de la phase d'appui.
- L'épaisseur des muscles intrinsèques et extrinsèques du pied (abducteur de l'hallux (ABDH), court fléchisseur de l'hallux (CFH), court fléchisseur des orteils (CFO), long fléchisseur de l'hallux (LFH), long fléchisseur des orteils (LFO) et long fibulaire (LF)) en utilisant des ultrasons.

Les critères de jugements sont décrits et la façon de les réaliser est justifiée par des données de la littérature.

Protocole utilisé :

GT : pas d'intervention

GE : SFE réalisé 3 fois par semaine pendant 8 semaines par entraînements de 20 minutes pendant lesquels 3 séries de 10 mouvements étaient effectuées. La difficulté des exercices a été augmentée progressivement, l'évolution de l'exercice est décrite. Le SFE est réalisé avec une stimulation électrique et une électromyographie (EMG) qui informe le patient lorsque l'ABDH se contracte, lui donnant ainsi un biofeedback.

Les exercices sont bien détaillés et la façon de les expliquer aux participants aussi.

Les critères de jugements sont mesurés dans les deux groupes avant et après les 8 semaines. L'évaluateur est en aveugle mais il n'y a aucune information concernant le maintien de l'insu.

Analyses statistiques :

Les analyses statistiques sont bien décrites, elles comportent la détermination de la taille de l'échantillon nécessaire pour réaliser l'étude, l'évaluation des résultats (significativité statistique).

RESULTATS

Dans le GE, la durée pendant laquelle le naviculaire est le plus bas pendant la marche est significativement plus courte après les 8 semaines d'entraînement qu'avant. Ce qui n'est pas le cas dans le GT.

Les scores FPI-6 et le ND test ont été significativement améliorés dans les deux groupes après les 8 semaines. Concernant le FPI-6, l'item « inversion/éversion du calcaneus » s'est tout de même significativement plus amélioré dans le GE par rapport au GT à l'issue du protocole.

Il n'y a pas eu de modification significative de l'épaisseur des muscles ABDH et LFO ni du DND dans les deux groupes.

DISCUSSION

Discussion à propos des paramètres de marche :

A l'issue du programme de 8 semaines de SFE, la durée pendant laquelle la hauteur du naviculaire est minimale a été raccourcie. D'après les auteurs, cela indique que le SFE améliore le « windlass mechanism ». Ils justifient cette conclusion par des données de la littérature et font le lien avec les pieds plats.

D'après les données de la littérature, la marche contraint l'ALM et le « windlass mechanism » permet de la protéger. Les auteurs s'attendaient à ce que la chute du naviculaire soit moins importante après le programme mais ça n'a pas été le cas. Ils proposent des explications : la mesure du DND n'a peut-

être pas été assez précise car le fait que la durée pendant laquelle le naviculaire est le plus bas soit raccourcie suppose que la chute du naviculaire soit moins importante, donc un DND diminué. Les auteurs parlent d'autres moyens de mesure du DND que celle qu'ils ont utilisé.

Discussion à propos de l'alignement statique du pied :

Les auteurs comparent leurs résultats aux données de la littérature : le SFE semble améliorer l'alignement statique du pied plat dans les études précédentes. Dans cette étude, il y a une amélioration significative dans les deux groupes des valeurs du ND test et du FPI-6. Les auteurs supposent que cela pourrait être dû à un biais de mesure puisque l'examineur évalue manuellement et visuellement ces paramètres.

Discussion à propos de l'épaisseur des muscles :

Les auteurs comparent leurs résultats aux données de la littérature : d'autres études montrent qu'après un programme de 8 semaines de SFE, la surface de coupe de l'ABDH augmente significativement. Dans cette étude, les auteurs utilisent des ultrasons pour évaluer l'épaisseur des muscles et ne trouvent pas de modifications. Ils supposent que cela s'explique par la méthode d'évaluation qui est probablement inadéquate pour détecter de légers changements d'épaisseur de muscles intrinsèques plantaires. *Cela peut constituer un risque de biais expérimental (car il est dû à la technique d'évaluation).*

Limites de l'étude d'après les auteurs :

- La petite taille de l'échantillon (n = 20) rend la détection de changements significatifs difficile. *Les auteurs relèvent cela, cependant, ils indiquent au début de l'article que la taille de l'échantillon a été prédéterminée.*
- Les sujets sont asymptomatiques, les résultats ne peuvent pas être généralisés à une population symptomatique.
- Le SFE n'a été réalisé que sur un pied pour réduire le temps de l'entraînement, il aurait été mieux de l'effectuer sur les deux pieds.
- Il serait intéressant d'évaluer la cinématique du pied pendant la course plutôt que pendant la marche car c'est au cours de cette activité que les blessures apparaissent.

Conclusion :

La diminution de la durée pendant laquelle le naviculaire est au plus bas indique une amélioration du « windlass mechanism » chez des sujets avec des pieds plats après avoir suivi un programme de 8 semaines de renforcement par le SFE.

Applicabilité et intérêt clinique :

Il serait intéressant d'utiliser le SFE pour prévenir ou traiter des blessures dues aux pieds plats bien que seule l'efficacité dynamique ait été démontrée par cet article. Le SFE est simple et ne nécessite aucun matériel. Il est donc facile à mettre en place en kinésithérapie.

BIBLIOGRAPHIE

30 sources citées. Les références sont bien présentées et pertinentes.

RESUME

Contextualisation, puis formulation de la question de recherche suivie de la méthode utilisée, des résultats et de la conclusion.

La conclusion du résumé ne reflète pas les résultats de l'étude. En effet, il est écrit ici que le SFE permet de corriger de façon efficace l'alignement statique du pied plat alors que ça n'a pas été clairement démontré. En effet, seul l'item inversion/éversion du calcaneus du FPI-6 a été amélioré vers une posture neutre.

Niveau de preuve et gradation (selon la HAS) / Grille CONSORT

Niveau de preuve 1 et grade A selon la HAS (essai contrôle randomisé de forte puissance).
26 items validés sur la liste de contrôle CONSORT (très bon score).

Titre de l'article : Morphologic relationship between toe exercises and the medial longitudinal arch

Auteurs/revue/année/vol/pages : Shiroshita T. 2019.

Description, critique et commentaire du contenu

INTRODUCTION

Les auteurs décrivent les moyens de soutien de l'arche longitudinale médiale (ALM). Beaucoup d'études existent sur la cheville et le pied mais peu sur les orteils. L'anatomie de leurs articulations est détaillée. Leur fonction est peu décrite dans la littérature d'après les auteurs, d'où l'intérêt de cette étude.

Objectif : étudier la relation entre des exercices impliquant les orteils et les variations morphologiques de l'ALM du pied.

L'objectif n'est pas clairement défini dans l'introduction, il l'est plus dans le résumé.

MATERIEL ET METHODE

Type d'étude : essai contrôlé randomisé.

Population :

39 sujets répartis en 4 groupes :

Groupe TCE (Towel Curl Exercise) : n = 10.

Groupe GTE (Great Toe Exercise) : n = 9.

Groupe LTE (Lesser Toe Exercise) : n = 10.

Groupe témoin : n = 10.

Il y a autant d'hommes que de femmes dans chaque groupe excepté dans le groupe GTE où il y a 5 hommes et 4 femmes. Un tableau présente les caractéristiques des groupes, ils sont comparables.

Les critères d'inclusion et d'exclusion sont décrits. Il semble que les sujets soient inclus indépendamment du fait qu'ils aient un affaissement de l'ALM ou non.

1 sujet sur les 40 au départ a abandonné. La raison de cet abandon est donnée.

La randomisation n'est pas du tout décrite, elle n'apparaît que dans le résumé.

Critères de jugement :

- Evaluation de la morphologie de l'ALM :

- La chute du naviculaire, évaluée avec le MNDT (Modified Navicular Drop Test),
- L'AHl (Arch Height Index).

- Evaluation de l'amplitude de FD (flexion dorsale) de cheville avec le genou en extension avec un goniomètre.

Les tests sont expliqués en s'appuyant sur des données de la littérature et leur utilisation est justifiée.

Les mesures sont réalisées au départ et après les 5 semaines puis comparées.

Les 2 pieds de chaque sujet sont examinés, soit 78 pieds au total.

Protocole utilisé :

Groupe témoin : les sujets ne réalisent aucun exercice.

Groupe TCE : les sujets réalisent le Towel Curl Exercise.

Groupe GTE : les sujets réalisent le Great Toe Exercise.

Groupe LTE : les sujets réalisent le Lesser Toe Exercise.

Les exercices sont réalisés chaque jour pendant 5 semaines.

Chaque exercice est bien détaillé et les modalités de réalisation le sont aussi.

L'adhérence des sujets est contrôlée tout au long de l'étude.

L'exercice du GTE et celui du LTE sont accompagnés par d'autres exercices de renforcement mais nous ne savons pas à quelle fréquence ces exercices ont été effectués ni par combien de sujets. Cet

élément peut biaiser les résultats concernant ces groupes : il n'y a pas que le GTE et le LTE qui entrent en compte. Cela crée un haut risque de biais de confusion.

Analyses statistiques : les analyses statistiques sont bien décrites.

RESULTATS

Comparaison des critères de jugement avant et après réalisation du programme d'exercices :

- Groupe GTE : pas de différence significative.
- Groupe LTE : diminution significative du MNDT après le protocole.
- Groupe TCE : pas de différence significative de la valeur du MNDT mais augmentation significative de l'AHI et de la DF de cheville.

Comparaison des critères de jugement mesurés après les 5 semaines entre le groupe témoin et les groupes réalisant un programme d'exercices :

- Groupe LTE : valeur du MNDT significativement plus basse par rapport au groupe témoin.

DISCUSSION

Les auteurs discutent des résultats issus de la comparaison des critères de jugement entre avant et après les 5 semaines :

- Groupe TCE : L'exercice du TCE augmente l'AHI, donc semblerait générer un affaissement de l'ALM, facilitant le développement de pieds plats. Les auteurs rapprochent ce résultat à ceux des études de Jam et al. et de Jarrett et al. Il semblerait que le TCE implique plutôt les muscles long fléchisseur des orteils (LFO) et long fléchisseur de l'hallux (LFH), qui sont des muscles extrinsèques, que les muscles intrinsèques.
- Groupe GTE : le LFH et le tibial postérieur (TP) sont impliqués dans cet exercice. L'ALM ne semble pas affectée par cet exercice.
- Groupe LTE : le fait que la valeur du MNDT soit significativement diminuée après le programme d'exercice indique que cet exercice permet un meilleur maintien de l'ALM. Cette observation n'avait pas encore été faite dans des études antérieures.

Pour la plupart des exercices, les auteurs parlent des études les ayant déjà évalués et parfois sur d'autres critères de jugement, ce qui approfondit le sujet.

Les auteurs parlent d'autres exercices existants permettant de renforcer les muscles intrinsèques du pied pour élever l'ALM. Ils parlent notamment du « Short Foot Exercise » (SFE) qui montre de bons résultats et le comparent au LTE.

Limites de l'étude d'après les auteurs :

- L'échantillon est de petite taille.
- Risque d'erreur de mesure :
 - o la plupart des mesures ont été réalisées par des étudiants, les mesures d'un sujet par groupe au hasard ont été faites par un spécialiste,
 - o il était difficile pour les sujets de respecter l'appui demandé nécessaire pour certaines mesures (10% et 90% du poids du corps),
 - o pour l'AHI, la mesure de la hauteur du pied a été compliquée.
- Tous les sujets sont jeunes, les résultats ne peuvent pas être généralisés à des sujets âgés.

Conclusion : le GTE ne semble pas être efficace sur l'augmentation de hauteur de l'ALM, contrairement au LTE qui montre une élévation significative de l'arche avec le MNDT. Concernant les résultats du TCE, il serait intéressant de les reconsidérer.

Applicabilité et intérêt clinique :

Les exercices évalués dans cette étude sont simples à mettre en place et demandent peu de matériel. L'étude montre que l'exercice LTE semble le plus efficace pour élever l'ALM. Cet exercice peut facilement être utilisé en kinésithérapie pour prévenir ou traiter un affaissement de l'ALM.

BIBLIOGRAPHIE

29 sources sont citées. Elles sont bien présentées et respectent la norme Vancouver.

RESUME

Le résumé suit le plan IMRAD et est claire.

Niveau de preuve et gradation (selon la HAS) / Grille CONSORT

Niveau de preuve 2 et grade B selon la HAS (essai contrôlé randomisé de faible puissance).

16 items validés sur l'échelle CONSORT.

Titre de l'article : 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.

Auteurs/revue/année/vol/pages : Sulowska I, Oleksy Ł, Mika A, Bylina D, Sołtan J. Journal Pone. 2016. Vol 11, n°6.

Description, critique et commentaire du contenu

INTRODUCTION

Contextualisation : Les auteurs expliquent les rôles des muscles intrinsèques plantaires (support de l'arche longitudinale médiale (ALM), permettent la stabilité et la flexibilité du pied pour absorber les chocs). Ils parlent ensuite des risques causés par des pieds excessivement pronateurs.

Objectif : évaluer l'influence de deux types d'exercices de renforcement des muscles intrinsèques plantaires sur la posture du pied et les mouvements fondamentaux chez des coureurs longue distance.

MATERIEL ET METHODE

Type d'étude : étude comparative non randomisée en simple aveugle.

Population :

25 coureurs longue distance (11 femmes et 14 hommes) âgés entre 22 et 35 ans répartis en deux groupes :

- Groupe 1 : n = 13.
- Groupe 2 : n = 12.

Pas de randomisation, nous ne savons pas comment la répartition a été faite.

Les auteurs donnent les critères d'inclusion et d'exclusion. Le type de pied ne constitue pas un critère d'inclusion ou d'exclusion. Le tableau recensant les mesures pré-protocoles indique que la valeur moyenne du FPI-6 correspond à celle d'un pied normal mais que certains sujets avaient des pieds pronateurs et d'autres des pieds supinateurs. Les auteurs auraient pu apporter cette précision.

Nous n'avons pas de détail sur les caractéristiques de base des sujets, nous ne pouvons donc pas savoir si les deux groupes étaient comparables, notamment sur les critères pouvant influencer les résultats (tel que l'IMC). Nous n'avons pas suffisamment d'informations pour écarter le risque de biais de confusion.

Un diagramme de flux permet de savoir combien de sujets ont suivi l'étude entièrement et s'il y a eu des abandons (aucun dans cette étude). Ceci évite un biais d'attrition.

Critères de jugement :

Les critères de jugement sont le «Foot Posture Index» (FPI-6) et le «The Functional Movement Screen» (FMS). Ils sont bien expliqués.

Les critères de jugement sont évalués deux fois : au départ et au bout des six semaines.

L'évaluateur réalise les mesures en aveugle.

Protocole utilisé :

- Groupe 1 : exercices « Vele's Forward Lean » et « Reverse Tandem Gait »
- Groupe 2 : « Short Foot Exercise » (SFE), avec une progression de la difficulté au fil du temps.

Au début de l'étude, les sujets apprennent à réaliser correctement les exercices et acquièrent un livret avec des explications écrites. Chaque groupe réalise ces exercices quotidiennement pendant six semaines. Les exercices sont expliqués dans l'étude.

Analyses statistiques : les outils utilisés pour effectuer les analyses statistiques sont bien décrits.

RESULTATS

Amélioration significative du FPI-6 dans les deux groupes (de la palpation du talus dans le groupe 1 (d'une position pronatrice vers une position neutre) et de l'inversion/éversion du calcaneus dans le groupe 2 (d'une position pronatrice vers une position neutre)).

Amélioration du FMS dans le groupe 1 (plus précisément, amélioration des « deep squat », « active straight leg raise » et amélioration du score total).

DISCUSSION

Les auteurs comparent leurs résultats aux données de la littérature. Ils tentent d'expliquer la différence de résultats entre les deux groupes.

Limites de l'étude d'après les auteurs :

- La population étudiée est constituée de sujets sains, coureurs longue distance, avec au départ des pieds classifiés comme « neutres » par le FPI-6. Les résultats ne peuvent donc pas être généralisés à une population présentant des pieds pronateurs.
- Les sujets de l'étude courraient trois à sept fois par semaine, parcourant une distance totale de 30 à 100 km par semaine. Il peut donc y avoir de grosses différences d'un sujet à l'autre, peut-être même d'un groupe à l'autre puisque ce paramètre n'a pas été étudié plus précisément.
- L'absence d'un groupe contrôle est une limite.
- Le FPI-6 est un test statique, les résultats ne peuvent donc pas être extrapolés à une situation dynamique.

Conclusion : le renforcement des muscles intrinsèques plantaires a des effets bénéfiques sur la fonctionnalité du pied et sa posture. Cela pourrait réduire le risque de blessure, c'est pourquoi il devrait être inclus dans l'entraînement quotidien des coureurs.

Applicabilité et intérêt clinique : le renforcement des muscles intrinsèques plantaire tel qu'il est proposé dans cette étude permet d'améliorer la posture du pied et sa fonctionnalité chez des coureurs, pouvant ainsi réduire le risque de blessure. Il serait donc intéressant d'intégrer ce renforcement à leurs entraînements en prévention. De plus, ces exercices ne demandent pas de matériel, ce qui facilite leur réalisation.

BIBLIOGRAPHIE

33 sources sont citées, ce qui est satisfaisant pour cette étude. La bibliographie est bien présentée, à la norme Vancouver.

RESUME

Le résumé est bien présenté et clair. Il suit la liste de contrôle CONSORT pour les résumés.

Niveau de preuve et gradation (selon la HAS)

Un niveau de preuve 2 et un grade B peuvent être attribués à cette étude selon la HAS (étude comparative non randomisée).

Titre de l'article : Effects of Short-Foot Exercises on foot posture, pain, disability, and plantar pressure in Pes Planus

Auteurs/revue/année/vol/pages : Unver B, Erdem EU, Akbas E. Journal of Sport Rehabilitation. 2019;1-5.

Description, critique et commentaire du contenu

INTRODUCTION

Les auteurs définissent le pied plat et ses répercussions. Ils expliquent ensuite le rôle des muscles intrinsèques et extrinsèques pour maintenir l'arche longitudinale médiale (ALM) et contrôler le pied. Ces éléments justifient l'intérêt de l'étude.

Les auteurs souhaitent étudier les effets du « Short Foot Exercise » (SFE) sur des paramètres statiques et dynamiques du pied plat. Pour cela, ils comparent ces paramètres chez les sujets du groupe expérimental (GE) réalisant le SFE à ceux un groupe témoin (GT), tous les sujets ayant les pieds plats.

Objectif : étudier les effets du SFE sur la chute du naviculaire, la posture du pied, la douleur, les incapacités et les pressions plantaires chez des sujets ayant des pieds plats.

Hypothèse : le SFE réduit la chute du naviculaire, la pronation du pied et les incapacités et améliore la distribution de la pression plantaire des pieds plats.

Les auteurs justifient l'intérêt de l'étude. L'objectif et l'hypothèse sont clairement présentés.

MATERIEL ET METHODE

Type d'étude : essai contrôlé non randomisé en simple aveugle.

Population :

41 sujets (25 femmes et 16 hommes) avec des pieds plats bilatéraux, âgés entre 18 et 25 ans, répartis en deux groupes selon leur volonté :

- Groupe expérimental : n = 21.
- Groupe témoin : n = 20.

Pour savoir si les sujets avaient des pieds plats lors du recrutement, le « Navicular Drop test » (ND test) et le « Foot Posture Index » (FPI) ont été réalisés.

Les critères d'inclusion et d'exclusion sont décrits. La façon dont le ND test et le FPI ont été fait est écrit dans la partie à propos des critères de jugement.

Les caractéristiques de base des sujets sont recueillies et présentés dans l'étude. Il y a une différence concernant le score de base de l'incapacité : il était plus important dans le GE en comparaison au GT. Cela compromet la comparabilité des groupes sur ce paramètre.

Critères de jugement :

Les critères de jugement sont le ND test, le FPI, les douleurs plantaires, les incapacités et les pressions plantaires.

Tous ces critères ont été évalués au début de l'étude puis au bout des six semaines par le même physiothérapeute.

Les critères de jugement sont décrits. Cependant, quelques détails sont manquants, notamment concernant la réalisation du ND test, les auteurs ne précisent pas comment la position neutre de l'articulation subtalaire a été déterminée, ni comment la hauteur du naviculaire a été mesurée.

Protocole utilisé :

Tous les sujets ont reçu une information à propos des pieds plats, des soins plantaires habituels à réaliser et du bon chaussage au début de l'étude.

Le GE effectue le SFE quotidiennement pendant 6 semaines (2 jours supervisés et 5 jours seuls à domicile). L'exercice est décrit, la position doit être maintenue 5 secondes. Les participants doivent faire 3 séries de 15 répétitions chaque jour. Pendant les 1^{ère} et 2^{ème} semaines l'exercice est réalisé assis, puis en appui bipodal les 3^{ème} et 4^{ème} semaines et enfin en appui unipodal au cours des 5^{ème} et 6^{ème} semaines.

Le GT ne reçoit aucune intervention.

L'explication des exercices et l'évaluation des paramètres plantaires ont été réalisées par deux physiothérapeutes différents afin d'obtenir une étude en simple aveugle et d'éviter ainsi des biais de mesure.

L'exercice, sa progression et ses modalités de réalisation sont bien décrits.

Analyses statistiques : les analyses statistiques sont décrites.

RESULTATS

Le ND test, le FPI, la douleur et les incapacités ont significativement diminués au bout des 6 semaines dans le GE.

Aucune différence significative n'a été observée entre les valeurs de départ et celles prises au bout des 6 semaines dans le GT.

DISCUSSION

Les auteurs comparent leurs résultats aux données de la littérature.

Les auteurs donnent les limites de leur étude :

- Le score d'incapacité était plus important dans le GE que dans le GT au début de l'étude car les sujets n'étaient pas attribués aléatoirement dans les groupes, mais selon leur volonté. Le but était d'augmenter l'adhérence aux exercices.
- L'efficacité à long terme du SFE n'est pas évaluée.
- Si la taille de l'échantillon était plus importante, des résultats plus précis auraient pu être mis en évidence.

Conclusion : réaliser le SFE quotidiennement pendant six semaines permet une réduction de la chute du naviculaire, de la pronation du pied, de la douleur plantaire et des incapacités. Cet exercice permet aussi d'augmenter la force des muscles plantaires médiaux du médio-pied lorsque le pied est plat.

Applicabilité et intérêt clinique : cette étude montre que le SFE est utile pour les sujets présentant des pieds plats. Le SFE et les critères de jugement sont clairement détaillés. Leur reproduction est donc possible. Il serait intéressant de mettre cet exercice en pratique dans la prise en charge de patients présentant des pieds plats.

BIBLIOGRAPHIE

26 sources citées. Le nombre de sources est suffisant. La bibliographie est bien présentée et pertinente.

RESUME

Le résumé est bien construit, il est clair et fidèle à l'étude.

Niveau de preuve et gradation (selon la HAS)

Un niveau de preuve 2 et un grade B peuvent être attribués selon la HAS (étude comparative non randomisée bien menée).

Titre de l'article : Effectiveness of gluteal muscle strengthening on flat foot.

Auteurs/revue/année/vol/pages : Mulchandani PA, Warude T, Pawar A. Asian J Pharm Clin Res. 2017. Vol 10, n°6.

Description, critique et commentaire du contenu

INTRODUCTION

Les auteurs décrivent le pied plat, qui comprend un affaissement de l'arche longitudinale médiale (ALM) dont les moyens de soutien sont cités. Les auteurs ciblent les pieds plats flexibles pour leur étude. Le rôle des muscles intrinsèques plantaires dans le maintien de l'ALM ainsi que l'intérêt de les renforcer sont expliqués. Le lien entre les muscles glutéaux et l'affaissement de l'ALM est exposé. Les investigateurs justifient ainsi leur étude.

Objectif : comparer l'efficacité d'un renforcement des muscles glutéaux associé à celui des muscles intrinsèques plantaires à l'efficacité du renforcement des muscles intrinsèques plantaires seul pour lutter contre les déformations du pied plat.

L'objectif n'est pas clairement donné dans l'introduction, il l'est dans le résumé.

MATERIEL ET METHODE

Type d'étude : étude comparative randomisée de faible puissance.

Population :

52 sujets jeunes (entre 18 et 25 ans) ayant un pied plat flexible unilatéral.

Randomisation non décrite.

Groupe expérimental : n = 26.

Groupe témoin : n = 26.

Les critères d'inclusion et d'exclusion sont bien décrits.

Il n'est pas indiqué si les caractéristiques démographiques ont été relevées ni si les groupes sont comparables au regard de celles-ci. Ce manque d'information mène à un possible biais de confusion.

Critères de jugement :

- Le ND test ("navicular drop test"),
- Le « plantar arch index by Ink test » : calcul de l'index de l'arche plantaire à partir de la surface de l'empreinte plantaire.

Les critères de jugements sont mesurés avant et après réalisation du protocole.

Les critères de jugements ne sont pas expliqués, nous ne savons pas comment les investigateurs les ont mesurés.

Protocole utilisé :

Groupe expérimental : exercices conventionnels de renforcement des muscles intrinsèques plantaires associés à un renforcement des muscles glutéaux.

Groupe témoin : exercices conventionnels de renforcement des muscles intrinsèques plantaires seuls.

Les exercices de renforcement des muscles intrinsèques plantaires sont réalisés 6 jours par semaine pendant 4 semaines par les deux groupes.

Le groupe expérimental réalise en plus un renforcement des muscles glutéaux 6 jours par semaine pendant 4 semaines.

La modalité de réalisation des exercices est donnée mais il n'y a pas de description des exercices.

Le ND test et l'index de l'arche plantaire mesurés avant et après le protocole sont comparés. Les auteurs comparent également l'évolution des valeurs entre les deux groupes.

Analyses statistiques : les analyses sont bien décrites dans les parties « méthode » et « discussion ». Il aurait été plus claire de toutes les réunir dans une même partie.

RESULTATS

Après réalisation du programme d'exercices, la chute du naviculaire a diminué significativement dans les deux groupes. L'élévation du naviculaire est significativement plus importante dans le groupe expérimental (GE) que dans le groupe témoin (GT).

La surface de l'empreinte plantaire a été significativement réduite dans les deux groupes lorsqu'on compare les mesures prises après que les sujets aient effectué le programme d'exercice par rapport à celles prises avant. Elle a diminué de façon significativement plus importante dans le GE que dans le GT.

L'article ne comporte pas de partie résultats, ces derniers apparaissent dans la partie méthode.

DISCUSSION

Justification :

- de l'intérêt d'étudier l'efficacité du renforcement des muscles glutéaux pour élever l'ALM par le fait que la faiblesse de ces muscles induit une pronation du pied.
- des critères utilisés pour déterminer si les pieds étaient plats et ainsi inclure les sujets avec un pied plat en s'appuyant sur des données de la littérature.
- de la tranche d'âge choisie pour les sujets de l'étude.
- du renforcement des muscles intrinsèques plantaires pour élever l'ALM.

Discussion des résultats :

Les auteurs expliquent pourquoi le renforcement des muscles glutéaux montre une efficacité pour élever l'ALM.

Les auteurs ne parlent pas des limites de leur étude ni des biais qu'elle présente.

Commentaires :

Les auteurs expliquent que selon une étude l'IMC ne montrerait pas de corrélation avec l'apparition des pieds plats. Cependant, par nos recherches, nous avons pu constater que l'inverse a été prouvé à plusieurs reprises. Cette affirmation est donc étonnante.

Conclusion : efficacité significative du renforcement des muscles glutéaux associé à un renforcement des muscles intrinsèques plantaires pour les déformations du pied plat.

Applicabilité et intérêt clinique :

Le fait que le renforcement des muscles glutéaux permette de lutter contre l'affaissement de l'ALM est intéressant pour lutter contre cette déformation. Les MK peuvent facilement mettre ce type d'exercice en place pour les patients présentant des pieds plats. Il est dommage que les auteurs n'aient pas détaillé leurs exercices, ce qui aurait facilité la reproductibilité des exercices évalués comme étant efficaces.

BIBLIOGRAPHIE

20 sources sont citées, elles sont bien présentées.

RESUME

Le résumé expose clairement l'objectif de l'étude et les moyens mis en œuvre pour y répondre. Les résultats principaux sont décrits avec des chiffres clés et la conclusion répond correctement à l'objectif et est cohérente avec les résultats.

Le résumé respecte la liste de contrôle CONSORT pour les résumés.

Niveau de preuve et gradation (selon la HAS) / Grille CONSORT

Niveau de preuve 2 et grade B selon la HAS (essai contrôlé randomisé de faible puissance).

14 items validés sur la liste de contrôle CONSORT.

Titre de l'article : Effect of intrinsic and extrinsic foot muscle strengthening exercises on foot parameters and foot dysfunctions in pregnant women: a randomised controlled trial

Auteurs/revue/année/vol/pages : Ramachandra P, Kumar P, Kamath A, Maiya AG. International Journal of Therapy and Rehabilitation. 2019. Volume 26, n°2, p. 1 à 11.

Description, critique et commentaire du contenu

INTRODUCTION

Les auteurs parlent du rôle du pied et de celui de l'arche longitudinale médiale (ALM) en particulier. Ils détaillent rapidement les moyens de support de cette arche et les répercussions de leurs dysfonctions : le pied plat valgus. Ces derniers apparaissent couramment au cours de la grossesse. Les auteurs donnent les raisons pouvant l'expliquer.

Objectif : étudier l'efficacité d'un programme d'exercices sur les paramètres plantaires de femmes enceintes (FE) et leurs dysfonctions.

MATERIEL ET METHODE

Type d'étude : essai contrôlé randomisé de forte puissance.

Population :

86 femmes primipares recrutées pendant la 18^{ème} semaine de grossesse. 81 femmes restent à la fin du protocole.

Les critères d'inclusion et d'exclusion sont décrits.

Une randomisation est faite par une attribution aléatoire d'un nombre aux participantes et enveloppes scellées.

Groupe expérimental : n = 40.

Groupe témoin : n = 41.

Les caractéristiques de base de la population ont été recueillies, les deux groupes sont comparables, les auteurs ne détaillent pas cela.

La taille de l'échantillon a été calculée avant la réalisation du protocole, les auteurs donnent la formule utilisée.

Critères de jugement :

Paramètres du pied : la longueur, la largeur du pied, la hauteur du naviculaire et le ratio tronqué de la hauteur normalisée du naviculaire sont évalués par un report de repères sur un papier graphique.

Dysfonctions du pied : évaluées par un questionnaire lors de la 18^{ème} semaine, de la 24^{ème} semaine et de la 32^{ème} semaine de grossesse (SG).

Protocole utilisé

Groupe témoin : exercices de routine seulement.

Groupe expérimental : programme d'exercices en plus des exercices de routines.

Le programme est détaillé et clairement décrit avec des photographies. Une progression de difficulté pour les exercices est prévue.

Fréquence : réalisation des exercices 3 fois par jours pendant 14 semaines : 20 répétitions de chaque exercice lors des 6 premières semaines du protocole puis 30 répétitions de chaque exercice lors des 6 semaines suivantes.

Evaluation des critères de jugement à la 24^{ème}, puis à la 32^{ème} SG.

Le programme d'exercice est réalisé à domicile avec un suivi : la patiente devait noter chaque jour si elle avait fait les exercices ou non, de plus, un investigateur appelait les patientes toutes les 2 semaines pour s'informer. Les auteurs expliquent leur moyen de connaître l'adhérence des femmes. 100% d'entre elles ont adhéré.

Analyses statistiques :

Statistiques descriptives réalisées pour étudier les paramètres de base des participantes, les groupes étaient comparables.

Les analyses desquelles découlent les résultats sont bien décrites.

RESULTATS

Différence significative entre le groupe témoin (GT) et le groupe expérimental (GE) concernant la largeur du pied, la hauteur du naviculaire, la longueur tronquée du pied et la hauteur du naviculaire tronquée, ce qui indique qu'il y a un affaissement important de l'ALM dans le GT comparé au GE ($P < 0,001$).

Il y a significativement moins de dysfonctions du pied (notamment des douleurs plantaires, des crampes des membres inférieurs) chez les femmes du GE comparé aux femmes du GT.

Conclusion : Un programme d'exercices du pied compréhensibles est efficace pour augmenter la hauteur de l'ALM, et de ce fait pour prévenir les dysfonctions plantaires des FE.

DISCUSSION

Les auteurs discutent des résultats et les comparent avec les données de la littérature.

Les auteurs écartent des éléments pouvant être à l'origine de biais de confusion comme l'augmentation pondérale qui impacte les paramètres du pied : le gain de poids des femmes du GT et de celles du GE ne montre pas de différence significative.

Grâce au diagramme de flux, le lecteur peut connaître le nombre de participantes ayant abandonné l'étude. Dans la discussion, les auteurs donnent les raisons de ces abandons.

Les auteurs donnent des perspectives pour de futures études.

Limites de l'étude selon les auteurs :

Les investigateurs n'étaient pas en aveugle, ce qui peut générer des biais lors des mesures.

BIBLIOGRAPHIE

La bibliographie est bien présentée mais les références ne sont pas numérotées.

RESUME

L'objectif de l'étude est clairement défini.

Le résumé ne suit pas le plan IMRAD mais répond à la grille CONSORT pour les résumés.

Niveau de preuve et gradation (selon la HAS) / Grille CONSORT

Niveau de preuve 1 et grade A selon la HAS (essai contrôlé randomisé de forte puissance).

26 items de l'échelle CONSORT ont été validés.

ANNEXE VI : tableau synthétisant les études retenues

N°	Titre	Auteur(s)/ Revue/ Année/ Vol/ Pages	Type d'étude	Objectifs de l'étude	Population	Intervention	Comparaison	Critère(s) de jugement principal/aux / Critère(s) de jugement secondaire(s)	Résultats / Conclusion	Niv preuve (HAS)
1	Influence of barefoot exercise in subjects with flat foot in pregnant women primiparous	Augustina S.J. Kamalakannan M. Thusharaa S. Dhajari C. Dhanalaksmi A. Drug Invention Today. 2019. Vol. 11, n°10, p. 5 à 9.	Série de cas	Evaluer l'efficacité d'un programme d'exercices pieds nus pour augmenter la hauteur de l'ALM et entretenir la force des pieds chez des femmes primigestes pendant la grossesse.	40 femmes primigestes recrutées au cours du 2 ^{ème} ou du 3 ^{ème} trimestre ayant des pieds plats acquis pendant la grossesse.	Programme d'exercices comprenant : - Exercices de renforcement des muscles soutenant l'ALM, - « Toe curls », - Etirement des triceps suraux et du fascia plantaire, - Cercles de chevilles, - Renforcement des MIP. Exercices pieds nus, par répétitions de 10-15 fois 2 fois par jour, 3 jours par semaine, pendant 4 semaines.	Comparaison de la hauteur de l'ALM avant et après réalisation du protocole.	La chute du naviculaire (mesurée par le « navicular drop test »).	Les exercices pieds nus sont efficaces pour augmenter la hauteur de l'ALM chez des femmes enceintes primigestes.	4
2	Effects of selective strengthening of tibialis posterior and stretching of iliopsoas on navicular drop, dynamic balance, and lower limb muscle activity in pronated feet: A randomized clinical trial	Alam F, Raza S, Moiz JA, Bhati P, Anwer S, Alghadir A. The Physician and Sportsmedicine. 2019. Volume 47, n°3, p. 301 à 311.	Essai comparatif randomisé de forte puissance	Analyser les effets d'un renforcement analytique du TP associé à l'étirement de l'iliopsoas en plus du TCE sur la chute du naviculaire, l'équilibre dynamique et l'activité musculaire des MI chez de jeunes adultes avec des pieds pronateurs.	28 étudiants ayant des pieds pronateurs bilatéraux répartis en deux groupes de 14 sujets.	GE : renforcement TP et étirement iliopsoas + TCE. GT : TCE seulement. Le GT réalise le TCE 3 fois par semaine pendant 6 semaines. Le GE réalise des exercices de renforcement du TP, des étirements de l'iliopsoas 3 fois par semaine pendant 6 semaines en plus du TCE.	Comparer les mesures de la chute du naviculaire, de l'équilibre dynamique et de l'activité musculaire des membres inférieurs entre les deux groupes après l'intervention.	- La chute du naviculaire (mesurée par le ND test), - L'équilibre dynamique (évaluée via le Y-balance test), - L'activité musculaire du TA et de l'ABDH.	Le renforcement analytique du TP associé à l'étirement de l'iliopsoas et au TCE permet d'améliorer les critères de jugements choisis dans une population d'étudiants avec des pieds plats bilatéraux asymptomatiques.	1

3	<p>The effects of gluteus maximus and abductor hallucis strengthening exercises for four weeks on navicular drop and lower extremity muscle activity during gait with flatfoot</p>	<p>Goo Y-M, Kim T-H, Lim J-Y. J Phys Ther Sci. 2016. Volume 28, n°3, p. 911 à 1005.</p>	<p>Essai comparatif randomisé de faible puissance</p>	<p>Analyser l'efficacité d'exercices de renforcement de l'ABDH et du GF chez des sujets avec des pieds pronateurs pour renforcer l'ALM et corriger la marche.</p>	<p>18 adultes présentant un pied pronateur répartis en 2 groupes de 9 sujets.</p>	<p>GE : renforcement du GF (3 séries de 20 répétitions) et de l'ABDH par le TS (100 répétitions). GT : renforcement de l'ABDH par le TS (100 répétitions) seulement.</p> <p>5 fois par semaine (3 fois dans le laboratoire et 2 fois à domicile) pendant 4 semaines.</p>	<p>Comparaison de l'activité musculaire des membres inférieurs pendant la marche et de la chute du naviculaire entre les deux groupes et au sein d'un même groupe avant et après le protocole.</p>	<p>Critère de jugement principal : l'activité musculaire des MI pendant la marche (mesurée par EMG). Critère de jugement secondaire : la chute du naviculaire (mesurée par le ND test).</p>	<p>Les auteurs suggèrent qu'un renforcement du GF ajouté à d'autres exercices corrigeant le pied pronateur est efficace pour parvenir à une marche correcte lorsque les pieds sont pronateurs.</p>	4
4	<p>The effects of hip external rotator exercises and toe-spread exercises on lower extremity muscle activities during stair-walking in subjects with pronated foot</p>	<p>Goo Y-M, Kim D-Y, Kim T-H. J Phys Ther Sci. 2016. Volume 28, n°3, pages 816 à 909.</p>	<p>Essai comparatif non randomisé</p>	<p>Etudier les effets d'un renforcement des RL de hanche et de l'exercice TS chez des sujets avec des pieds pronateurs et évaluer leurs effets sur l'activité musculaire des MI pendant la marche dans les escaliers.</p>	<p>20 adultes sains ne présentant pas d'antécédent de chirurgie de la cheville ou du pied ni de déformations plantaires.</p> <p>Répartis en 2 groupes de 10 sujets.</p>	<p>GE : renforcement des RL de hanche (3 séries de 20 répétitions) et exercice TS (100 répétitions). GT : exercice TS (100 répétitions) seulement.</p> <p>5 fois par semaine (3 fois dans le laboratoire et 2 fois à domicile) pendant 4 semaines.</p>	<p>Comparaison des critères de jugement avant et après le protocole.</p>	<p>Critère de jugement principal : l'activité musculaire des muscles suivants : du GF, du VM du TA et de l'ABDH. Critère de jugement secondaire : le ND test.</p>	<p>Après réalisation du protocole :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le GE présente une chute du naviculaire significativement moins importante que le GT. - La marche dans les escaliers semble plus efficace après avoir effectué le protocole de renforcement musculaire de l'ABDH associé à celui des RL de hanche (car augmente l'activité de l'ABDH et du VM). 	4

5	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	Hashimoto T, Sakuraba K. J Phys Ther Sci. 2014. Volume 26, n°3, p. 373 à 376.	Série de cas	Etudier les effets du renforcement des muscles fléchisseurs intrinsèques du pied avec un nombre de répétitions et une charge définie sur la force musculaire, la forme des arches plantaires et certains paramètres dynamiques (le saut en longueur sur une jambe, le saut en hauteur et le « 50m dash time »).	12 hommes sains sans déformations plantaires.	Flexion de tous les orteils contre une résistance de 3kg. Une fois 200 répétitions par jour, trois fois dans la semaine pendant une période de 8 semaines.	Les critères de jugement sont mesurés avant et après le protocole et comparés.	- La force des muscles fléchisseurs intrinsèques plantaires (mesurée par un dynamomètre à poignée numérique), - La longueur des arches plantaires (mesurée avec une empreinte plantaire), - Tests dynamiques : saut en longueur sur une jambe, saut en hauteur, « 50m dash time » (vitesse de course)	- Augmentation significative de la force des muscles fléchisseurs intrinsèques du pied, - Diminution significative de la longueur des arches, - Amélioration significative des paramètres dynamiques.	4
6	Effects of plantar intrinsic foot muscle strengthening exercise on static and dynamic foot kinematics: A pilot randomized controlled single-blind trial in individuals with pes planus	Okamura K, Fukuda K, Oki S, Ono T, Tanaka S, Kanai S. Gait & Posture. 2020. Volume 75, n°40.	Essai contrôlé randomisé en simple aveugle	Déterminer les effets du SFE sur l'alignement statique du pied et sur la dynamique du pied pendant la marche chez des sujets ayant des pieds plats.	20 participants ayant les pieds plats.	GT : pas d'intervention. GE : SFE Exercices réalisés 3 fois par semaine pendant 8 semaines. Les entraînements duraient 20 minutes pendant lesquels 3 séries de 10 répétitions étaient effectuées. La difficulté des exercices était augmentée progressivement, l'évolution de l'exercice est décrite.	Les critères de jugements sont mesurés dans les deux groupes avant et après les 8 semaines. L'évolution de ces valeurs est comparée entre les deux groupes.	Critères de jugements principaux : - Paramètres dynamiques du pied pendant la marche (DND) - L'alignement du pied en statique (<i>FPI-6, ND test</i>). Critères de jugement secondaires : - Lors de la marche : la durée de la phase d'appui et la force de réaction du sol pendant la 2 ^e partie de la phase d'appui, - L'épaisseur de muscles intrinsèques et extrinsèques du pied avec l'échographie.	- Dans le GE, la durée pendant laquelle le naviculaire est le plus bas est significativement plus courte après les 8 semaines d'entraînement qu'avant. Ce qui n'est pas le cas dans le GT. - Scores FPI-6 ont été significativement améliorés dans les deux groupes après les 8 semaines. - Inversion/éversion du calcaneus significativement amélioré dans le GE à l'issu du protocole. - Pas de modification significative de l'épaisseur des muscles ABDH et long fléchisseur des orteils ni du DND dans les deux groupes.	1

7	Morphologic relationship between toe exercises and the medial longitudinal arch	Shiroshita T. 2019	Essai comparatif randomisé de faible puissance	Etudier la relation entre des exercices impliquant les orteils et les variations morphologiques de l'arche longitudinale médiale du pied.	39 sujets jeunes (moyenne d'âge d'environ 20 ans).	<p>Groupe témoin : les sujets ne réalisent aucun exercice.</p> <p>Groupe TCE : les sujets réalisent le Towel Curl Exercise.</p> <p>Groupe GTE : les sujets réalisent le Great Toe Exercise.</p> <p>Groupe LTE : les sujets réalisent le Lesser Toe Exercise. Les exercices sont réalisés chaque jour pendant 5 semaines.</p>	<p>Comparaison des critères de jugement avant et après réalisation du programme d'exercices.</p> <p>Comparaison des critères de jugement mesurés après les 5 semaines entre le groupe témoin et les groupes réalisant un programme d'exercices.</p>	<p>Evaluation de la morphologie de l'ALM :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La chute du naviculaire, évaluée avec le MNDT (Modified Navicular Drop Test), - L'AHl (Arch Height Index). <p>Evaluation de l'amplitude de DF de cheville avec le genou en extension avec un goniomètre.</p>	L'exercice LTE montre une élévation significative de l'arche avec le MNDT après le programme de 5 semaines.	2
8	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	Sulowska I, Oleksy Ł, Mika A, Bylina D, Sołtan J. 2016.	Etude comparative non randomisée en simple aveugle	Evaluer l'influence de deux types d'exercices de renforcement des MIP sur la posture du pied et les mouvements fondamentaux chez des coureurs longue distance.	25 coureurs longue distance (11 femmes et 14 hommes) âgés entre 22 et 35 ans.	<p>Groupe 1: exercices « Vele's Forward Lean » et « Reverse Tandem Gait »</p> <p>Groupe 2: « Short Foot Exercise » (SFE), avec une progression de la difficulté au fil du temps.</p> <p>Chaque groupe réalise ces exercices quotidiennement pendant six semaines.</p>	<p>Comparaison des critères de jugement avant et après réalisation des exercices pendant six semaines.</p> <p>Comparaison de l'évolution des critères de jugement entre les 2 groupes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - «Foot Posture Index» (FPI-6), - «The Functional Movement Screen» (FMS) 	<p>Amélioration significative du FPI-6 dans les deux groupes (allant vers une posture neutre).</p> <p>Amélioration du FMS dans le groupe 1 (plus précisément, amélioration des « deep squat », « active straight leg raise » et amélioration du score total).</p>	2

9	Effects of Short-Foot Exercises on foot posture, pain, disability, and plantar pressure in Pes Planus	Unver B, Erdem EU, Akbas E. 2019	Etude comparative non randomisée bien menée en simple aveugle	Etudier les effets du SFE sur la chute du naviculaire, la posture du pied, la douleur, les incapacités et les pressions plantaires chez des sujets ayant des pieds plats.	41 sujets (25 femmes et 16 hommes) avec des pieds plats bilatéraux, âgés entre 18 et 25 ans répartis en 2 groupes : - GE : n = 21. - GT : n = 20	Le GE effectue le SFE quotidiennement pendant 6 semaines (2 jours supervisés et 5 jours seuls à domicile). Position maintenue 5 secs. 3 séries de 15 répétitions chaque jour. 1 ^{ère} et 2 ^{ème} semaines : l'exercice est réalisé assis, 3 ^{ème} et 4 ^{ème} semaines : en appui bipodal, 5 ^{ème} et 6 ^{ème} semaines : en appui unipodal. Le GT ne reçoit aucune intervention.	Comparaison de l'évolution des paramètres des sujets du groupe expérimental réalisant le SFE à un groupe témoin, tous les sujets ayant les pieds plats.	- ND test, - FPI, - douleur plantaire, - incapacité, - pressions plantaires.	Le ND test, le FPI, la douleur et les incapacités ont significativement diminué au bout des six semaines dans le GE. Aucune différence significative n'a été observée entre les valeurs de départ et celles prises au bout des six semaines dans le GT.	2
10	Effectiveness of gluteal muscle strengthening on flat foot	Mulchandani PA, Warude T, Pawar A. Asian J Pharm Clin Res. 2017. Vol 10, n°6.	Essai comparatif randomisé de faible puissance	Comparer l'efficacité d'un renforcement des muscles glutéaux associé au renforcement des MIP à l'efficacité du renforcement des MIP seul pour lutter contre les déformations du pied plat.	52 sujets jeunes avec un pied plat flexible unilatéral.	GE : exercices conventionnels de renforcement des MIP associés à un renforcement des muscles glutéaux. GT : exercices conventionnels de renforcement des MIP seuls. Les exercices de renforcement des MIP sont réalisés 6 jours par semaine pendant 4 semaines. Le GE réalise en plus un renforcement des muscles glutéaux 6 jours par semaine pendant 4 semaines.	Le ND test et l'index de l'arche plantaire mesurés avant et après le protocole sont comparés. Les auteurs comparent également l'évolution des valeurs entre les deux groupes.	- Le ND test (« navicular drop test »), - Le « plantar arch index by Ink test » : calcul de l'index de l'arche plantaire à partir de la surface de l'empreinte plantaire.	Après réalisation du programme d'exercices, la chute du naviculaire et l'index de l'arche plantaire ont diminué significativement dans les deux groupes. Les 2 critères de jugements sont diminués de façon significative plus importante dans le GE que dans le GT.	2

11	Effect of intrinsic and extrinsic foot muscle strengthening exercises on foot parameters and foot dysfunctions in pregnant women: a randomised controlled trial	Ramachandra P, Kumar P, Kamath A, Maiya AG. International Journal of Therapy and Rehabilitation. 2019. Volume 26, n°2, p. 1 à 11.	Essai contrôlé randomisé de forte puissance	Etudier l'efficacité d'un programme d'exercice sur les paramètres plantaires de FE et leurs dysfonctions.	81 femmes primigestes recrutées pendant la 18 ^e SG.	GT : exercices de routine seulement. GE : programme d'exercices en plus des exercices de routines. Evaluation des critères de jugement à la 24 ^e puis à la 32 ^e SG.	Comparaison des valeurs des critères de jugement à la 24 ^e puis à la 32 ^e SG, puis comparaison de leur évolution entre les deux groupes.	Paramètres du pied : la longueur, la largeur du pied, la hauteur du naviculaire et le ratio tronqué de la hauteur normalisée du naviculaire sont évalués par un report de repères sur un papier graphique. Dysfonctions du pied : évaluées par un questionnaire lors de la 18 ^e , de la 24 ^e et de la 32 ^e SG.	Différence significative entre le GT et le GE concernant les paramètres du pied indiquant qu'il y a un affaissement important de l'ALM dans le GT comparé au GE. Il y a significativement moins de dysfonctions du pied chez les femmes du GE comparé aux femmes du GT.	1
----	--	---	---	---	--	---	--	--	--	---

ANNEXE VII : outils d'évaluation utilisés dans les articles inclus

1. Outils d'évaluation clinique de l'ALM

Pour évaluer la hauteur de l'ALM et la capacité des structures de soutien de cette arche à la maintenir quand le sujet est en charge, de nombreux outils existent. Nous allons détailler ci-dessous les plus utilisés, qui présentent une bonne fiabilité et validité. La référence pour évaluer la hauteur de l'ALM est la radiographie mais celle-ci demande des équipements et n'est pas réalisable sur des FE (1), c'est pourquoi nous ne la décrivons pas.

1.1. “Navicular Drop test” et “Modified Navicular Drop test”

Le « Navicular Drop test » (ND test) consiste à comparer la hauteur de la tubérosité du naviculaire en fonction de la position de l'articulation subtalaire et de la charge appliquée sur le pied. En effet, ces deux facteurs influent sur la hauteur de la tubérosité du naviculaire.

Dans la partie sur la biomécanique du pied, nous avons expliqué que l'articulation subtalaire permettait les mouvements de varus et de valgus du calcaneus et que les mouvements dynamiques des pieds étaient combinés. La combinaison de mouvements associée au valgus calcaneen abaisse l'ALM, donc la tubérosité naviculaire. Inversement, la combinaison associée au varus calcaneen l'élève (2). Le positionnement de l'articulation subtalaire va donc influencer la hauteur de la tubérosité du naviculaire. C'est pour cette raison qu'il doit être pris en compte lors de la réalisation du ND test. Pour mesurer la chute du naviculaire, les évaluateurs mesurent d'abord la distance entre la tubérosité du naviculaire et le sol lorsque la subtalaire est en position neutre. Ensuite, ils mesurent cette même distance sans contrôle de la position de l'articulation, avec le pied relâché. Une forte reproductibilité inter et intra-évaluateur est retrouvée avec ce test réalisé en station debout bipodale et en identifiant la position neutre de la subtalaire par palpation de la tête du talus à condition que l'évaluateur soit expérimenté (3).

La charge appliquée sur le pied modifie également la hauteur de la tubérosité du naviculaire (4,5). C'est pourquoi elle est souvent prise en compte en plus de la position de l'articulation subtalaire. La plupart des auteurs comparent cette hauteur avec l'articulation subtalaire en position neutre, supportant peu de charge par rapport à la hauteur le pied relâché, supportant une charge plus importante (6-8).

Le « Modified Navicular Drop Test » (MNDT) compare la hauteur de la tubérosité du naviculaire en position assise et en charge. Dans le MNDT, la charge supportée par le pied en position assise doit correspondre à 10% du poids du corps (9).

1.1.1. Positionnement de l'articulation subtalaire

Pour réaliser le ND test, le placement de l'articulation subtalaire en position neutre en chaîne fermée peut se faire de différentes manières: par la simple palpation de la tête talaire ou par l' « Anterior Line Method ».

1.1.1.1. Palpation de la tête talaire

Pour trouver la position neutre de l'articulation subtalaire par la palpation de la tête talaire, il faut repérer les extrémités latérale (L) et médiale (M) de la tête du talus. Ensuite, par une pince pouce index sur ces repères, l'examineur mobilise passivement le talus pour amener l'articulation subtalaire d'une position de pronation vers une position de supination et inversement (Fig.1). Et ceci jusqu'à trouver la position neutre qui correspond à l'amplitude articulaire à laquelle la proéminence osseuse des extrémités médiale et latérale de la tête du talus seront palpées à la même profondeur (3).



Figure 1 : repérage et prise pour la palpation et mobilisation du talus

1.1.1.2. Anterior Line Method

Pour placer l'articulation subtalaire en position neutre avec l'« Anterior Line Method », il faut tout d'abord marquer quelques repères (Fig.2):

- Palper les extrémités médiale et latérale de la tête du talus antérieurement puis placer un repère (R) au milieu de ces deux points (M et L).
- Tracer le segment reliant ce repère (R) à la tête du 2^{ème} métatarsien (M2) sur la face dorsale du pied.
- Repérer la crête tibiale au 1/3 inférieur du segment jambier (T) et joindre ce point au premier repère (R) (10).

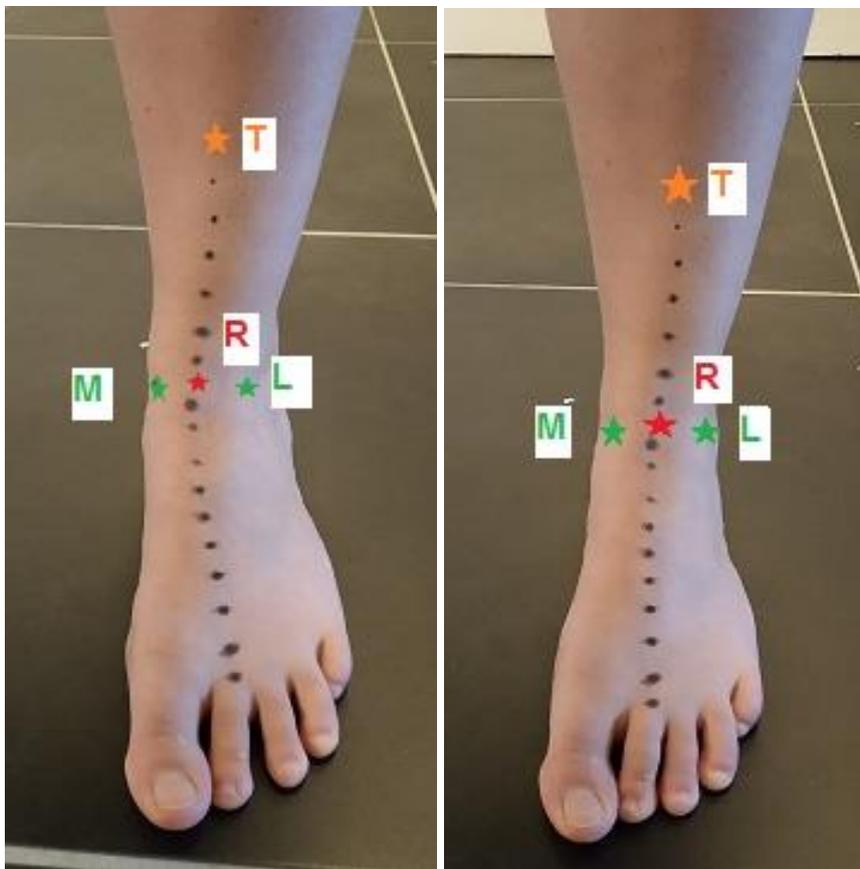


Figure 2 : Anterior Line Method

Ce marquage permet de visualiser rapidement la posture du pied (s'il est neutre, pronateur ou supinateur) en fonction de la position de l'articulation subtalaire. Pour obtenir la position neutre, il faut que la ligne marquée soit droite. Pour cela, il est possible de mobiliser le talus par une pince pouce index sur les repères M et L et d'amener ainsi l'articulation subtalaire en position neutre.

1.2. Arch Height Index

Suivant les auteurs, l'« Arch Height Index » (AHI) permet soit d'estimer si la hauteur de l'ALM est dans les normes ou non (11), soit d'évaluer la capacité des éléments de soutien de l'ALM à jouer leur rôle (9). Nous allons expliquer deux méthodes retrouvées dans la littérature.

L'une des méthodes nécessite des empreintes plantaires. Il faut connaître la surface de l'arrière-pied (A), celle du médiopied (B) et celle de l'avant-pied (C) (Fig.3). L'AHI correspond alors au résultat de la formule suivante : $AHI = B/(A+B+C)$.

La valeur de l'AHI permet de définir 3 classes :

- $AHI < \text{ou} = 0,21$: ALM haute,
- $0,21 < AHI < 0,26$: hauteur de l'ALM dans la norme,
- $AHI > \text{ou} = 0,26$: ALM basse (11).

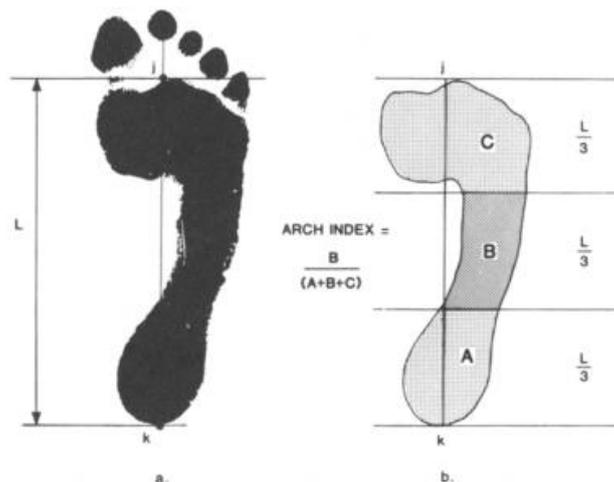


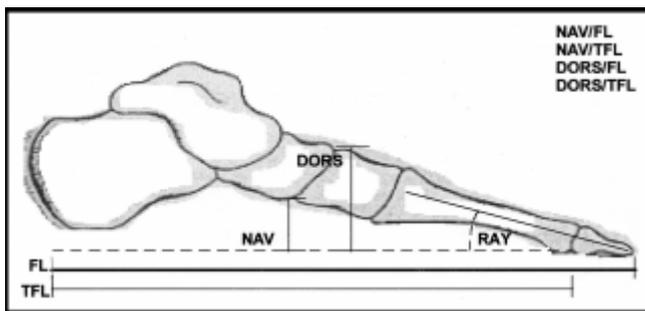
Figure 3 : découpage de la surface de l'empreinte plantaire en 3 zones (Cavanagh, 1987 (11))

L'AHI calculée de cette manière est une mesure objective et fiable lorsqu'elle est réalisée en position debout statique, avec le poids du corps également réparti entre les deux MI. Une plateforme de force est utilisée pour connaître l'appui sur le MI testé (11).

Une autre méthode de calcul à partir de mesures anthropométriques a été développée par Williams et McClay. Les repères utiles au calcul de l'AHI sont représentés sur la figure 4. L'AHI correspond à l'« Arch Height » (AH) lors d'un appui à 10% et à 90% du poids du corps. Un pèse-personne peut être utilisé pour connaître ce pourcentage et réaliser la mesure au bon appui. L'AH se calcule avec la formule suivante : $AH = DORS / TFL$.

- DORS étant la hauteur du dos du pied (Fig.4), correspondant à la distance entre le sol et le point le plus haut du pied, à la moitié de la longueur du pied (la longueur totale du pied correspondant à la distance entre l'extrémité postérieure du talon et l'extrémité distale de l'hallux).
- TFL étant la longueur tronquée du pied, égale à la longueur du pied sans celle des orteils (Fig.4).

L'AH est une estimation de la hauteur de l'ALM et la comparaison de l'AH lors d'appuis différents permettra de connaître la déformation relative de l'ALM (12).



Légende :

FL: foot length (longueur du pied)
 TFL: truncated foot length (longueur tronquée du pied)
 NAV: navicular height (hauteur du naviculaire)
 DORS: dorsum height (hauteur du dos du pied)
 RAY: first ray angle (angle du 1er rayon)

Figure 4 : schéma présentant les repères utiles au calcul de l'AH (Williams et McClay, 2000 (12))

Les mesures anthropométriques peuvent être prises de différentes manières. Dans leur étude, Williams et McClay utilisent un pied à coulisse (Fig.5) et trouve une forte reproductibilité intra et inter évaluateur ainsi qu'une bonne validité en comparaison aux radiographies (12). Cependant, l'« Arch height index measurement system » (AHIMS) (Fig.6) fournit une plus haute reproductibilité inter-évaluateur (13).

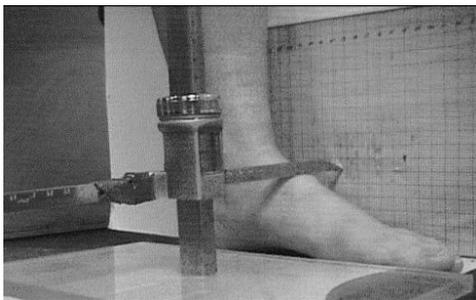


Figure 5 : mesure de la hauteur du dos du pied avec un pied à coulisse (William et McClay, 2000 (12))

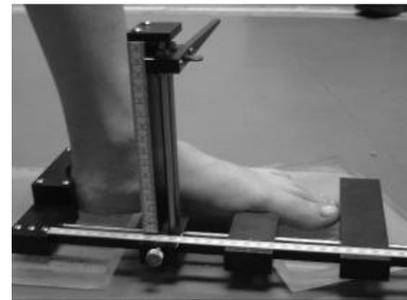


Figure 6 : photographie de la prise de mesure avec un AHIMS (Butler et al., 2008)

1.3. Arch rigidity index

L'« Arch rigidity index » (ARI) reflète la capacité des structures de soutien de l'ALM à la maintenir. L'ARI se calcule en comparant les mesures d'AH calculées en charge à celle en décharge. Ce calcul correspond à celui décrit dans l'étude de William et McClay (90). Nommons AH(10%) la valeur de l'AH mesurée lors d'un appui à 10% du poids du corps et AH(90%) celle lors d'un appui à 90% du poids du corps. L'ARI se calcule alors ainsi : $AH(90\%) / AH(10\%)$ (14). Dans d'autres études, plutôt que d'utiliser un pourcentage du poids du corps, l'ARI est calculé en divisant l'AH mesurée debout bipodale par l'AH mesurée en position assise (15). Dans les deux cas, plus la valeur obtenue se rapproche de 1, moins le pied est flexible (14,15).

Dans leur étude, Shiroshita *et al.* appellent AHI la différence entre l'AH(10%) et l'AH(90%). Cette formule reflète la mobilité de l'ALM, comme l'ARI. Plus le résultat est élevé, moins le pied est flexible (9).

2. Outil d'évaluation clinique de la posture du pied: le FPI-6

Le "Foot Posture Index (6-item)" (FPI-6) est une évaluation du morphotype du pied en position debout statique confortable. Elle permet de classer les pieds en trois types : supinateur, neutre ou pronateur. L'évaluation comprend six items :

- Trois items concernent l'arrière-pied :
 - o « Talar head palpation » : repérage de la tête du talus par la palpation,
 - o « Curves above and below lateral malleoli » : les courbes au-dessus et en dessous de la malléole latérale,
 - o « Inversion/éversion of the calcaneus » : l'angle d'inversion/éversion du calcanéus (soit de valgus/varus).
- Trois items concernent l'avant-pied:
 - o « Bulge in the region of the TNJ »: un bombement médial au niveau de l'articulation talo-naviculaire,
 - o « Congruence of the medial longitudinal arch »: la forme de l'ALM,
 - o « Abduction/adduction of the forefoot on the rear foot (too-many-toes) »: l'abduction/adduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied avec le signe "too-many-toes" (16).

Une valeur entre -2 et +2 est attribuée à chaque item. Le tableau ci-dessous est alors à remplir (Tab.I). Puisqu'il y a six items, le score total se situe entre -12 et +12. Entre 0 et +5 le

ped est neutre, entre +6 et +9 le pied est pronateur (et très pronateur au-dessus de +10) et entre -4 et -1 le pied est supinateur (et très supinateur en dessous de -5) (16).

Tableau I : Foot Posture Index (6-item) Datasheet

COMPONENT	PLANE	SCORE 1		SCORE 2		SCORE 3	
		Date	Comment	Date	Comment	Date	Comment
		Left (-2 to +2)	Right (-2 to +2)	Left (-2 to +2)	Right (-2 to +2)	Left (-2 to +2)	Right (-2 to +2)
Talar head palpation	Transverse						
Curves above and below lateral malleoli	Frontal /trans						
Inversion/eversion of the calcaneus	Frontal						
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							

Reference values :

Normal : 0 to +5

Pronated : +6 to +9, Highly pronated 10+

Supinated : -1 to -4, Highly supinated -5 to -12

Pour attribuer une valeur à chaque item, il faut se reporter au guide de l'utilisateur de Redmond (16).

Bibliographie concernant les outils d'évaluation clinique de l'ALM:

1. Leemrijse T, Besse J-L, Devos Bevernage B, Valtin B, Barnaud A, Lengelé B. Pathologie du pied et de la cheville. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2015.
2. Maestro M, Ferre B. Anatomie fonctionnelle du pied et de la cheville de l'adulte. Revue du Rhumatisme Monographies. avr 2014;81(2):61-70.
3. Zuil-Escobar JC, Martínez-Cepa CB, Martín-Urrialde JA, Gómez-Conesa A. Evaluating the medial longitudinal arch of the foot: correlations, reliability, and accuracy in people with a low arch. Physical Therapy. 1 mars 2019;99(3):364-72.
4. Kapandji AI. Anatomie fonctionnelle: schémas commentés de mécanique humaine. Paris: Maloine; 2007.
5. Kelly LA, Cresswell AG, Racinais S, Whiteley R, Lichtwark G. Intrinsic foot muscles have the capacity to control deformation of the longitudinal arch. J R Soc Interface. 6 avr 2014;11(93):20131188.
6. Augustina SJ, Kamalakannan M, Thusharaa S, Dhajari C, Dhanalaksmi A. Influence of barefoot exercise in subjects with flat foot in pregnant women primiparous. Drug Invention Today. 2019;11(10):5.

7. Alam F, Raza S, Moiz JA, Bhati P, Anwer S, Alghadir A. Effects of selective strengthening of tibialis posterior and stretching of iliopsoas on navicular drop, dynamic balance, and lower limb muscle activity in pronated feet: A randomized clinical trial. *The Physician and Sportsmedicine*. 3 juill 2019;47(3):301-11.
8. Unver B, Erdem EU, Akbas E. Effects of Short-Foot Exercises on foot posture, pain, disability, and plantar pressure in Pes Planus. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2019;1-5.
9. Shiroshita T. Morphologic relationship between toe exercises and the medial longitudinal arch. 2019;9(5):6.
10. Najjarine A. Using the Anterior Line Method (ALM) to find subtalar neutral foot position. *Journal of Science and Medicine in Sport*. déc 2011;14:e89.
11. Cavanagh PR, Rodgers MM. The arch index: a useful measure from footprints. *J Biomech*. 1987;20(5):547-51.
12. Williams DS, McClay IS. Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch: reliability and validity. *Physical Therapy*. 1 sept 2000;80(9):864-71.
13. Kodithuwakku Arachchige SNK, Chander H, Knight A. Flatfeet: Biomechanical implications, assessment and management. *The Foot*. 1 mars 2019;38:81-5.
14. Mulligan EP, Cook PG. Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function. *Manual Therapy*. oct 2013;18(5):425-30.
15. Segal NA, Boyer ER, Teran-Yengle P, Glass NA, Hillstrom HJ, Yack HJ. Pregnancy leads to lasting changes in foot structure. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. mars 2013;92(3):232-40.
16. Redmond A. *The foot posture index: User guide and manual*. 2005.

ANNEXE VIII : protocole détaillé

Proposition d'un protocole de prévention de l'affaissement de l'arche longitudinale médiale chez la femme primigeste

Les femmes ont tendance à développer des pieds plats valgus souples (PPVS) au cours de la grossesse. La revue de la littérature a mis en avant l'efficacité d'exercices de renforcement musculaire pour prévenir ou traiter l'affaissement de l'arche longitudinale médiale (ALM). Il serait alors intéressant de prévenir ces déformations chez les femmes enceintes (FE) à l'aide d'un programme d'exercices adaptés en utilisant les informations fournies par notre revue.

1. OBJECTIFS

La formulation de la question de recherche à laquelle répondra ce protocole peut être faite selon le modèle PICO :

- P (population) : FE primigestes ne présentant pas de pieds plats valgus.
- I (intervention) : réalisation du programme d'exercices.
- C (comparaison) : comparaison des critères de jugement avant et après réalisation du protocole pour connaître l'évolution des paramètres plantaires.
- O (outcomes) :
 - o Critères de jugement principaux : la hauteur de l'ALM (évaluée avec le « *Navicular Drop test* » (ND test)) et la posture du pied plus globalement (évaluée avec le « *Foot Posture Index – 6 items* » (FPI-6)).
 - o Critères de jugement secondaires : la longueur et la largeur du pied, la pointure de chaussures et l'« *Arch rigidity index* » (ARI).

La question de recherche est la suivante : la mise en place d'un programme d'exercices, composé majoritairement de renforcement musculaire, permet-elle la prévention des PPVS chez les FE ? Nous émettons l'hypothèse que oui. Le but est de tester l'efficacité de ce programme.

Cette étude comportera un groupe expérimental (GE), effectuant les exercices de renforcement musculaire, et un groupe témoin (GT) ne les réalisant pas. La répartition des sujets entre ces deux groupes sera aléatoire. Les évaluateurs ne sauront pas si les femmes

dont ils prendront les mesures plantaires ont été attribuées au GE ou au GT. Il s'agira donc d'une étude contrôlée randomisée en simple aveugle.

2. POPULATION

2.1. Critères d'inclusion et d'exclusion

S'agissant d'un protocole de prévention des PPVS, les femmes recrutées ne doivent pas présenter de pieds plats valgus lors du recrutement. Les critères d'inclusion vont dans ce sens :

- Les participantes doivent être primigestes car les femmes ayant déjà été enceintes ont tendance à conserver les pieds plats après leur grossesse ainsi que des dysfonctions musculo-squelettiques (1-3). Elles sont donc plus susceptibles de présenter des PPVS au début de la grossesse.
- Les FE sont recrutées au cours de leur 1^{er} trimestre de grossesse (soit, entre la 1^{ère} et la 13^{ème} semaine de grossesse (SG), ou entre la 1^{ère} et la 15^{ème} semaine d'aménorrhée (SA)) car c'est à partir du 2^{ème} trimestre que les déformations plantaires apparaissent (4).

Pour vérifier que les femmes n'aient pas de pieds plats valgus lors du recrutement, l'évaluateur réalise le ND test et le FPI-6. Pour indiquer une absence de pieds plats valgus, le ND test doit être inférieur à 10 mm (5-11) et le FPI-6 doit être inférieur ou égal à 6 (12).

Les critères d'exclusion autres que la présence de pieds plats valgus sont : le port de semelles ou de chaussures orthopédiques, des douleurs au niveau des pieds, des antécédents traumatiques ou chirurgicaux des membres inférieurs (MI), des pathologies neurologiques ayant des répercussions sur les pieds, des déformations traumatiques ou congénitales des MI, des atteintes musculaires des MI.

2.2. Recrutement des femmes

Lorsqu'elles sont enceintes, les femmes doivent prendre rendez-vous pour leur 1^{ère} consultation prénatale. Il faut que celle-ci ait lieu entre la 11^{ème} et la 13^{ème} SA pour réaliser l'échographie de datation. Cette consultation peut se dérouler soit dans un cabinet de ville, soit dans un service hospitalier, avec un médecin, un gynécologue ou une sage-femme (13). Il s'agit de la première consultation obligatoire, c'est pourquoi nous avons choisi ce moment pour recruter les FE. Lors de la prise de rendez-vous, il sera proposé aux FE de participer à

l'étude. Les FE ayant donné leur accord pourront alors s'entretenir avec l'investigateur après leur consultation.

Le but de cet entretien est d'abord de rechercher la présence de critères d'exclusion, et notamment l'existence de pieds plats valgus par le ND test et le FPI-6. Si les femmes répondent aux critères de l'étude, alors l'investigateur pourra recueillir leur consentement après leur avoir donné une information complète et claire. Les caractéristiques de base du sujet pourront être recueillies (l'âge, le poids, la taille et l'IMC) et les premières mesures en plus du ND test et du FPI-6 seront effectuées. Les femmes répondant aux critères de l'étude seront ensuite aléatoirement réparties entre le GE et le GT.

3. MATERIEL

Pour réaliser les tests, nous aurons besoin d'un marqueur dermatographique, d'un « *Arch height index measurement system* » (AHIMS), d'un pédimètre et de deux peses personnes.

4. DEROULEMENT DU PROTOCOLE

Pour des raisons pratiques, le protocole se déroulera au sein d'un service hospitalier. En effet, les femmes seront amenées à y revenir pour leur échographie du 2^{ème} trimestre (entre la 22^{ème} et la 24^{ème} SA), puis pour celle du 3^{ème} trimestre (entre la 31 et 33^{ème} SA) (13). Cela permet de limiter les contraintes de lieu et de temps. Les mesures seront prises lors de chaque visite (au 1^{er}, au 2nd et au 3^{ème} trimestre). Concernant le post-partum, il sera demandé aux femmes de revenir dans les deux semaines suivant l'accouchement, puis six à huit semaines plus tard. Pendant ces deux périodes, les femmes doivent se rendre aux séances de suivi post-natal obligatoires. Si celles-ci se déroulent à l'hôpital, cela permet encore d'éviter les freins liés aux contraintes de lieu et de temps.

Les FE attribuées au GE participeront à une séance comprenant l'explication des exercices et des conseils d'hygiène de vie. Cette séance se déroulera entre le premier rendez-vous (au cours duquel elles ont été recrutées) et avant le 2^{ème} trimestre de grossesse (donc avant la 15^e SA).

Au cours de cette première séance, l'investigateur fera prendre conscience au sujet de la mobilité de l'articulation subtalaire et de sa position neutre. Pour cela, l'« *Anterior Line Method* » (ANNEXE VII) sera utilisée et apprise aux femmes. Cette méthode permet de visualiser clairement la position neutre et les repères anatomiques sont facilement palpables.

Une fois la ligne tracée, la FE s'assira face à un miroir puis mobilisera son pied en alternant entre les postures supinatrice et pronatrice, puis en essayant de trouver la posture neutre (Fig.1). Elle devra être capable de l'identifier seule et de la maintenir au cours des exercices.

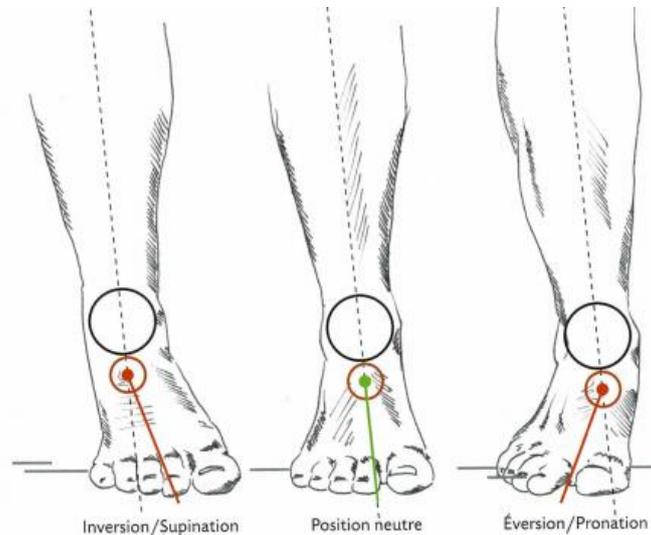


Figure 1 : Mobilisation du pied d'une posture à l'autre (F. Brigaud, 2015 (14))

Ensuite, l'investigateur présentera et démontrera les exercices du programme puis s'assurera que la FE les réalise correctement. Un livret (ANNEXE IX) sera ensuite distribué à chaque participante pour qu'elle effectue les exercices à domicile.

En plus de l'apparition de PPVS, les FE souffrent couramment d'œdèmes des MI (4,15-17). Pour prévenir ou traiter cela, l'investigateur conseillera aux femmes de porter des bas de contention de classe II, d'éviter les positions statiques prolongées et de surélever les MI au lit. De plus, la pratique d'activités aquatiques sera encouragée car l'immersion complète du corps dans l'eau et les sports aquatiques tels que l'aquagym ont montré leur efficacité (16).

La Haute Autorité de Santé (HAS) recommande la pratique d'une activité physique adaptée pendant la grossesse et le post-partum. En effet, il a été démontré que celle-ci présente une multitude d'effets bénéfiques sur la santé des FE et du fœtus. L'examen médical mené lors du premier rendez-vous comprendra l'évaluation de l'aptitude à l'activité physique par le questionnaire « X-AAP pour les femmes enceintes » (ANNEXE X). Si au cours de ce rendez-vous aucune contre-indication n'est relevée, l'intervenant encouragera la pratique de l'activité physique. D'après la HAS, les FE doivent faire « *au moins 150 à 180 minutes par semaine d'activité physique* », c'est donc ce que conseillera l'intervenant. L'activité physique mixte ayant montré plus de bénéfices, il orientera préférentiellement les FE vers ce type d'activité. L'activité physique mixte associe une activité en endurance et une activité de

renforcement. Il faudra informer les FE des activités sportives contre-indiquées telles que les activités présentant un haut risque de chute et de choc abdominal et la plongée sous-marine (18).

L'investigateur donnera également des conseils de chaussage aux participantes. Il faut privilégier des chaussures souples, limitant le moins possible la capacité d'adaptation du pied au sol. La chaussure doit permettre au pied de se mouvoir et notamment de dissocier l'avant-pied de l'arrière-pied, de s'allonger et de se raccourcir en fonction du degré de torsion et l'arche antérieure doit pouvoir s'étaler correctement. La marche pieds nus laisse la plus grande liberté au pied, c'est pourquoi elle est recommandée (14).

4.1. Exercices composant le programme

Nous utilisons les résultats de la revue de la littérature et la réflexion présentée dans la discussion pour choisir les exercices. La durée totale d'une séance du programme est de vingt-cinq minutes au maximum. Il est demandé aux participantes d'effectuer ce programme cinq fois par semaine pendant six semaines. Pour le choix des modalités de réalisation, nous nous sommes appuyés sur celles mises en place dans les études ayant montré leur efficacité tout en adaptant pour que les séances ne soient pas trop longues.

Les exercices étant réalisés à domicile, nous en choisissons ne demandant pas de matériel spécifique. Les exercices de renforcement des muscles intrinsèques plantaires (MIP) devront être réalisés avec l'articulation subtalaire en position neutre. Pour un meilleur ressenti, tous les exercices seront à réaliser pieds nus.

Certains exercices demandent un appui unipodal. Cette position est instable, d'autant plus que pendant la grossesse, l'équilibre est perturbé, c'est pourquoi nous inviterons les FE à effectuer ces exercices en gardant un léger appui avec le membre supérieur.

4.1.1. Short Foot Exercise

L'efficacité de cet exercice a été observée par deux études de haut niveau de preuve (19,20) et la contraction de l'abducteur de l'hallux (ABDH) lors de sa réalisation a été démontrée dans plusieurs études (21-23). Nous proposons cet exercice tel qu'il est décrit précédemment, avec une progression de la difficulté : en position assise d'abord (pendant les semaines 1 et 2), puis en appui bipodal (pendant les semaines 3 et 4), et enfin en appui unipodal (pendant les semaines 5 et 6). L'augmentation de la charge permet d'accroître

l'activation de l'ABDH (23). La progression de la difficulté est la même que dans l'étude d'Unver *et al.* car le « *Short Foot Exercise* » (SFE) a démontré son efficacité ainsi (20). La consigne est de maintenir le pied raccourci pendant cinq secondes. Il faut effectuer trois séries de quinze répétitions par séance. Entre chaque série, une pause de 30 secondes est demandée.

4.1.2. Flexion dorsale des quatre derniers orteils

Nous choisissons d'utiliser l'exercice de flexion dorsale (FD) des quatre derniers orteils tel qu'il est décrit par Ramachandra *et al.* (17). Ce choix est justifié par le fait qu'il ne nécessite pas de matériel, que son niveau de difficulté est inférieur à celui du « *Lesser Toe Exercise* » (LTE) (24) et que l'activation des MIP par cet exercice a été confirmée (21). Les FE devront maintenir la contraction cinq secondes. Il sera demandé de réaliser trois séries de quinze répétitions par séance, chaque série sera espacée de 30 secondes de pause.

4.1.3. Toe Curl Exercise

Bien que la revue de la littérature n'ait pas permis de mettre en avant son efficacité, nous intégrons le « *Toe Curl Exercise* » (TCE) au programme. Les muscles activés par cet exercice ne le sont pas par les précédents. L'ajout de cet exercice est donc intéressant pour obtenir un renforcement plus complet des éléments actifs de soutien de l'ALM. De plus, il est facile à réaliser et le seul matériel nécessaire est une serviette.

Le TCE sera réalisé tel qu'il est décrit par Alam *et al.*, avec la même progression : assis, puis debout en appui bipodal, puis en appui unipodal (11). Il est demandé de réaliser trois séries de quinze mouvements au niveau des deux pieds simultanément. Chaque série est espacée de 30 secondes de pause.

4.1.4. Renforcement musculaire du tibial postérieur

Le tibial postérieur (TP) est particulièrement important pour maintenir l'ALM c'est pourquoi nous choisissons d'inclure le renforcement de ce muscle dans notre programme. Parmi les références analysées dans la revue, seule l'étude d'Alam *et al.* utilise le renforcement de ce muscle (11). Nous n'utiliserons pas la technique telle qu'elle est décrite dans leur étude car son efficacité ne peut pas être isolée et elle nécessite du matériel. L'étude d'Akuzawa *et al.* montre que la montée sur la pointe des pieds avec le pied à 30° d'adduction et le poids supporté sur l'articulation métatarso-phalangienne du V active majoritairement le

TP et le long fléchisseur des orteils (LFO) (25). C'est ainsi que l'exercice sera réalisé dans ce programme, par trois séries de vingt répétitions en alternant les mouvements d'un MI à l'autre.

4.1.5. Renforcement des rotateurs latéraux de hanche

La plupart des exercices de renforcement des rotateurs latéraux (RL) de hanche présentés dans les études incluses impliquent le procubitus ou le latérocubitus (8-10), or ces positions ne sont pas adaptées à la FE. Nous allons nous inspirer de la technique retrouvée comme activant le plus le grand fessier (GF) dans l'étude de Sakamoto *et al.* (Fig.2) (26). L'exercice se réalisant en procubitus, la position sera changée par la quadrupédie mais le mouvement demandé sera toujours une extension de hanche en maintenant la RL, associé à une flexion de genou à 90° (Fig.3). La consigne est de faire trois séries de vingt répétitions cinq fois par semaine au niveau des deux hanches, comme dans les études de Goo *et al.* car cela a montré son efficacité (8,9).



Figure 2 : Exercice thérapeutique identifié comme activant le plus le GF (Sakamoto, 2009 (26))



Figure 3 : Renforcement du GF

4.1.6. Etirement des RM de hanche

Nous proposons un étirement des RM de hanche en décubitus, le pied posé sur le MI controlatéral, genou fléchi (Fig.4). La consigne sera de maintenir l'étirement pendant 30 secondes, puis de faire une pause de 30 secondes entre chaque. Cela sera à réaliser trois fois de chaque côté.



Figure 4 : étirement des RM de hanche

4.1.6. Exercices non intégrés

Nous avons choisi de ne pas intégrer le « *Toe Spread* » (TS) et le « *Toe gripping* » dans ce programme d'exercice car la revue de la littérature n'a pas permis de prouver leur efficacité (8,9,24,27). De plus, concernant le « *Toe gripping* », du matériel était nécessaire (27). Les exercices « *Vele's Forward Lean* » (VFL) et « *Reverse Tandem Gait* » (RTG) nécessitent une très bonne gestion préalable du raccourcissement du pied (19). Leur niveau de difficulté est donc élevé, c'est pourquoi nous n'intégrons pas ces exercices non plus.

4.2. Moyens d'évaluation de l'efficacité du protocole

Les évaluations réalisées tout au long du protocole permettent de constater s'il y a une évolution des paramètres au cours du temps dans les deux groupes et de les comparer. Nous pourrions également comparer nos résultats aux données de la littérature, beaucoup d'études utilisant ces mêmes outils d'évaluation. Les deux pieds sont évalués.

4.2.1 Critères de jugement principaux

Les critères de jugement principaux utilisés pour déterminer l'efficacité du protocole pour prévenir l'apparition de PPVS sont la hauteur des ALM et la morphologie des pieds plus globalement.

4.2.1.1. La hauteur de l'ALM

Comme nous l'avons soulevé précédemment, il n'existe pas de consensus pour évaluer l'ALM. Le ND test est le plus utilisé, sa réalisation nous permettra de comparer les résultats à ceux de la littérature. La chute du naviculaire peut être testée de plusieurs façons. Nous choisissons de comparer la hauteur du naviculaire entre une position assise, avec l'articulation subtalaire en position neutre et une position en appui bipodal, avec le pied relâché (20). La position neutre de l'articulation subtalaire sera déterminée par palpation de la tête du talus (ANNEXE VII). La hauteur du naviculaire sera mesurée avec l'AHIMS (ANNEXE VII).

4.2.1.2. La morphologie du pied

Le FPI-6 permet une évaluation de la morphologie du pied, il apporte plus d'informations que le ND test. Il sera réalisé tel que décrit en annexe (ANNEXE VII) et en utilisant le guide de

Redmond (12). Ce test présente une très bonne fiabilité intra-évaluateur et une fiabilité inter-évaluateur modérée (28).

4.2.2. Critères de jugement secondaires

4.2.2.1. Arch rigidity index

L'ARI est expliqué en annexe (ANNEXE VII). Nous le calculerons en divisant l'AH(90%) par l'AH(10%) car ces mesures sont plus précises que la division de l' « Arch Height » (AH) mesurée debout bipodal par celle mesurée en position assise. L'AH sera calculée comme décrit par William et McClay car ce calcul fournit la meilleure fiabilité et validité pour estimer la hauteur de l'ALM (29). Les mesures seront réalisées avec un AHIMS car ce système fournit une plus haute reproductibilité inter-évaluateur que le pied à coulisse (30).

4.2.2.2. Longueur et largeur du pied

Ces paramètres seront mesurés avec l'AHIMS. La longueur du pied correspond à la distance entre l'extrémité distale de l'hallux et le point le plus postérieur du talon. La largeur du pied est la distance entre la proéminence médiale de la tête de M1 et la proéminence latérale de la tête du 5^{ème} métatarsien (M5).

4.2.2.3. La pointure de chaussure

La mesure de la pointure par un pédimètre permettra de connaître la pointure des sujets et de savoir si celle-ci est modifiée au cours du temps.

La prise de poids et la laxité articulaire influencent la forme du pied. Pour cette raison, il faudra les évaluer à chaque visite en plus des paramètres plantaires. Le recueil des valeurs lors du premier entretien permettra d'obtenir des groupes comparables en s'assurant qu'il n'y ait pas de différence. Plus tard, il sera intéressant d'évaluer les corrélations entre ces facteurs et d'éventuelles différences d'efficacité.

La laxité articulaire sera évaluée en utilisant le score de Beighton. Il s'agit de l'outil le plus utilisé et le plus reconnu pour évaluer l'hypermobilité articulaire généralisée. La validation d'un item apporte un point, le score est sur 9 (Tab.I). Chez les adultes, entre la puberté et avant 50 ans, un score supérieur ou égal à 5 correspond à une hypermobilité articulaire généralisée (31,32).

Tableau I : 9 points du score de Beighton

	R	L
The ability to		
(1) Passively dorsiflex the 5th metacarpo-phalangeal joint $\geq 90^\circ$ 	1	1
(2) Oppose the thumb to the volar aspect of the ipsilateral forearm 	1	1
(3) Hyperextend the elbow to $\geq 10^\circ$ 	1	1
(4) Hyperextend the knee to $\geq 10^\circ$ 	1	1
(5) Place the hands flat on the floor without bending the knees 	1	
Maximum total	9	

Pour créer ce tableau, nous avons utilisé les données de l'article: Beighton P, Solomon L, Soskolne CL. Articular mobility in an African population. *Ann Rheum Dis.* 1 sept 1973;32(5):413-8.

Les images proviennent du site de l'« Hypermobility Syndromes association » (HMSA), disponible: <https://www.hypermobility.org/help-advice/hypermobility-syndromes/beighton-score>

Bibliographie de la proposition de protocole :

1. Dunn J, Dunn C, Habbu R, Bohay D, Anderson J. Effect of pregnancy and obesity on arch of foot. *Orthop Surg.* 2012;4(2):101-4.
2. Headlee DL, Leonard JL, Hart JM, Ingersoll CD, Hertel J. Fatigue of the plantar intrinsic foot muscles increases navicular drop. *Journal of Electromyography and Kinesiology.* 2008;18(3):420-5.
3. Calguneri M, Bird HA, Wright V. Changes in joint laxity occurring during pregnancy. *Ann Rheum Dis.* 1982;41(2):126-8.
4. Alvarez R, Stokes IA, Asprinio DE, Trevino S, Braun T. Dimensional changes of the feet in pregnancy. *J Bone Joint Surg Am.* 1988;70(2):271-4.
5. Augustina SJ, Kamalakannan M, Thusharaa S, Dhajari C, Dhanalaksmi A. Influence of barefoot exercise in subjects with flat foot in pregnant women primiparous. *Drug Invention Today.* 2019;11(10):5.
6. Okamura K, Kanai S, Fukuda K, Tanaka S, Ono T, Oki S. The effect of additional activation of the plantar intrinsic foot muscles on foot kinematics in flat-footed subjects. *The Foot.* 2019;38:19-23.
7. Okamura K, Kanai S, Hasegawa M, Otsuka A, Oki S. The effect of additional activation of the plantar intrinsic foot muscles on foot dynamics during gait. *The Foot.* 2018;34:1-5.
8. Goo Y-M, Kim D-Y, Kim T-H. The effects of hip external rotator exercises and toe-spread exercises on lower extremity muscle activities during stair-walking in subjects with pronated foot. *J Phys Ther Sci.* 2016;28(3):816-9.
9. Goo Y-M, Kim T-H, Lim J-Y. The effects of gluteus maximus and abductor hallucis strengthening exercises for four weeks on navicular drop and lower extremity muscle activity during gait with flatfoot. *J Phys Ther Sci.* 2016;28(3):911-5.
10. Mulchandani PA, Warude T, Pawar A. Effectiveness of gluteal muscle strengthening on flat foot. *Asian J Pharm Clin Res.* 2017;10(6):219.
11. Alam F, Raza S, Moiz JA, Bhati P, Anwer S, Alghadir A. Effects of selective strengthening of tibialis posterior and stretching of iliopsoas on navicular drop, dynamic balance, and lower limb muscle activity in pronated feet: A randomized clinical trial. *The Physician and Sportsmedicine.* 2019;47(3):301-11.
12. Redmond A. *The foot posture index: User guide and manual.* 2005.
13. L'Assurance Maladie. *Ma maternité - Je prépare l'arrivée de mon enfant* [cité 31 mars 2020]. Disponible sur : <https://www.ameli.fr/assure/droits-demarches/famille/maternite-paternite-adoption/grossesse>
14. Brigaud F. *Corriger le pied sans semelle : pied pronateur, supinateur & prévention des entorses.* 2015.

15. Wetz HH, Hentschel J, Drerup B, Kiesel L, Osada N, Veltmann U. Changes in shape and size of the foot during pregnancy. *Orthopade*. nov 2006;35(11):1124, 1126-30.
16. Van Kampen M, Devoogdt N, De Groef A, Gielen A, Geraerts I. The efficacy of physiotherapy for the prevention and treatment of prenatal symptoms: a systematic review. *Int Urogynecol J*. nov 2015;26(11):1575-86.
17. Ramachandra P, Kumar P, Kamath A, Maiya AG. Effect of intrinsic and extrinsic foot muscle strengthening exercises on foot parameters and foot dysfunctions in pregnant women: a randomised controlled trial. *International Journal of Therapy and Rehabilitation*. 2 févr 2019;26(2):1-11.
18. HAS. Prescription d'activité physique et sportive pendant la grossesse et en post-partum. 2019 [cité 1 mai 2020]. Disponible sur : <https://www.has-sante.fr › docs › pdf › app 329 ref aps grossesse vf>
19. Sulowska I, Oleksy Ł, Mika A, Bylina D, Sołtan J. 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. *Buchowski M, éditeur. PLoS ONE*. 23 juin 2016;11(6).
20. Unver B, Erdem EU, Akbas E. Effects of Short-Foot Exercises on foot posture, pain, disability, and plantar pressure in Pes Planus. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2019;1-5.
21. Gooding TM, Feger MA, Hart JM, Hertel J. Intrinsic foot muscle activation during specific exercises: A T2 Time Magnetic Resonance Imaging study. *Journal of Athletic Training*. août 2016;51(8):644-50.
22. Kim M-H, Kwon O-Y, Kim S-H, Jung D-Y. Comparison of muscle activities of abductor hallucis and adductor hallucis between the short foot and toe-spread-out exercises in subjects with mild hallux valgus. *BMR*. 29 avr 2013;26(2):163-8.
23. Jung D-Y, Kim M-H, Koh E-K, Kwon O-Y, Cynn H-S, Lee W-H. 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*. févr 2011;12(1):30-5.
24. Shiroshita T. Morphologic relationship between toe exercises and the medial longitudinal arch. 2019;9(5):6.
25. Akuzawa H, Imai A, Iizuka S, Matsunaga N, Kaneoka K. The influence of foot position on lower leg muscle activity during a heel raise exercise measured with fine-wire and surface EMG. *Phys Ther Sport*. nov 2017;28:23-8.
26. Sakamoto A, Teixeira-Salmela L, Rodriguez de Paula F, Guimaraes C, Faria C. Gluteus maximus and semitendinosus activation during active prone hip extension exercises. *Rev Bras Fisioter*. 2009;13(4):335-42.
27. Hashimoto T, Sakuraba K. 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. *J Phys Ther Sci*. 2014;26(3):373-6.
28. Cornwall MW, McPoil TG, Lebec M, Vicenzino B, Wilson J. Reliability of the Modified Foot Posture Index. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2008;98(1):7-13.

29. Williams DS, McClay IS. Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch: reliability and validity. *Physical Therapy*. 2000;80(9):864-71.
30. Kodithuwakku Arachchige SNK, Chander H, Knight A. Flatfeet: Biomechanical implications, assessment and management. *The Foot*. 1 mars 2019;38:81-5.
31. Juul-Kristensen B, Schmedling K, Rombaut L, Lund H, Engelbert RHH. Measurement properties of clinical assessment methods for classifying generalized joint hypermobility: A systematic review. *Am J Med Genet*. mars 2017;175(1):116-47.
32. Beighton P, Solomon L, Soskolne CL. Articular mobility in an African population. *Annals of the Rheumatic Diseases*. 1 sept 1973;32(5):413-8.

ANNEXE IX : livret destiné aux participantes du groupe expérimental

**Prévention de l'apparition des pieds plats
au cours de la grossesse**

**Livret d'exercices à réaliser
à domicile**



Le protocole auquel vous avez accepté de participer a pour but de prévenir l'apparition de pieds plats au cours de la grossesse. Ce livret a pour objectif de vous fournir un support rappelant les exercices présentés lors de votre premier entretien.



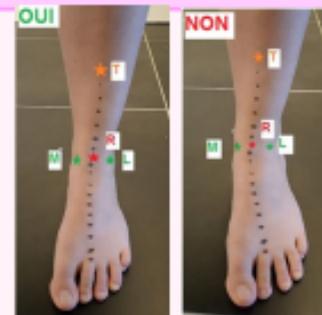
2

Position préalable du pied

Les exercices de renforcement du pied devront être réalisés en maintenant l'arrière-pied (articulation subtalaire) dans une position neutre. Afin de l'obtenir, vous pourrez utiliser l'« *Anterior Line Method* ». Il vous faudra tout d'abord marquer quelques repères :

- Au niveau du coup de pied (pli de flexion de la cheville), vous palpez les deux extrémités (M et L) de l'os talus (en avant des deux malléoles). Le repère (R) se situant au milieu de la ligne reliant ces deux points.
- Tracer le segment reliant ce repère (R) à la base du 2ème orteil sur le dos du pied.
- Repérer la crête du tibia au 1/3 inférieur de la jambe (T) et joindre ce point au premier (R) (1).

Une fois ces repères placés, assurez vous que la ligne tracée est droite. Si la ligne est cassée, cela signifie que l'articulation subtalaire n'est pas en position neutre. Tout au long du « *Short Foot Exercise* » et de la flexion dorsale des 4 derniers orteils, il faudra contrôler que l'articulation est bien en position neutre, c'est à dire que la ligne est droite.



3

PROGRAMME D'EXERCICES

Une séance de ce programme d'exercices dure 25 minutes maximum.

La fréquence de réalisation est de 5 jours par semaine, pendant 6 semaines.

Flexion dorsale des 4 derniers orteils

Asseyez-vous avec les talons placés à l'aplomb des genoux. Elevez ensuite les quatre derniers orteils en gardant le gros orteil en contact avec le sol (2). Maintenez la contraction pendant 5 secondes puis relâchez pendant 5 secondes. Réalisez 3 séries de 15 mouvements au niveau des deux pieds en même temps. Les séries seront espacées de 30 secondes de pause.



Short Foot Exercise

Le « Short Foot Exercise » (SFE) consiste à raccourcir le pied en rapprochant la base des orteils du talon, et ainsi élever l'arche à l'intérieur du pied. Le talon doit rester en contact avec le sol et les orteils ne doivent pas fléchir (2-4). Une fois le pied raccourci, maintenez-le ainsi pendant 5 secondes, puis relâchez 5 secondes. Effectuez 3 séries de 15 mouvements au niveau des deux pieds simultanément. Les séries seront espacées de 30 secondes de pause.



Toe Curl Exercise

Pour réaliser le « Toe Curl Exercise » (TCE), placez une serviette sous vos pieds. Commencez par décoller l'avant-pied tout en gardant le talon au sol (A) puis faites une extension de tous les orteils, pied au sol (B). Agrippez ensuite la serviette avec les orteils comme pour la rapprocher du talon (C) (5). Réalisez 3 séries de 15 mouvements au niveau des deux pieds simultanément. Les séries seront espacées de 30 secondes de pause.



La position dans laquelle seront réalisés les deux exercices ci-dessus évoluera au cours des semaines

1ère et 2ème semaine	3ème et 4ème semaine	5ème et 6ème semaine
Réalisez le SFE assise, avec les talons placés à l'aplomb des genoux.	Positionnez-vous debout, en appui sur les deux pieds.	Debout, placez-vous dans le coin d'une pièce, avec une chaise à côté de vous pour vous sécuriser en cas de déséquilibre. Mettez-vous ensuite en appui sur un seul pied puis effectuez l'exercice et répétez de l'autre côté.
		

Renforcement du muscle tibial postérieur

Pour réaliser cet exercice, placez-vous dans le coin d'une pièce, avec une chaise à proximité pour assurer un appui en cas de déséquilibre. Au départ, placez-vous sur un pied, les orteils et la rotule regardant droit devant (A). Ensuite, dirigez votre pointe de pied vers l'intérieur sans modifier la position du genou (B). Enfin, pour renforcer le muscle tibial postérieur, montez sur la pointe de pied en conservant bien cet alignement (6). Vous devez sentir que le poids du corps est supporté majoritairement par la partie externe du pied (C). Effectuez 3 séries de 15 mouvements en alternant entre la jambe droite et la jambe gauche.



8

Étirement des rotateurs médiaux de hanche

Pour étirer les rotateurs médiaux de hanche, allongez-vous sur le dos et pliez les deux genoux. A l'expiration, contractez le périnée et le bas du ventre puis amenez le pied droit sur la cuisse gauche. Poussez sur votre genou droit avec la main du même côté. Attention à ne pas soulever la fesse opposée ou à incliner le bassin. Vous devez sentir un étirement au niveau de la hanche droite que vous maintiendrez pendant 30 secondes. A l'inspiration relâchez, faites une pause de 30 secondes puis recommencez 3 fois de chaque côté lors de chaque séance.



9

Renforcement du grand fessier

Positionnez-vous à quatre pattes en gardant la majorité du poids du corps au niveau des jambes. Les mains doivent alors être placées en avant (7).

L'exercice consiste depuis la position de quatre pattes, à tendre une jambe à l'horizontale, à plier le genou à 90 degrés et à tourner le pied vers l'intérieur. Amenez ensuite l'ensemble vers le plafond. Attention aux compensations présentées sur la page 11.

Lors de ce renforcement, il est important de synchroniser l'exercice avec l'expiration, la contraction du périnée et du bas ventre. A l'inspiration, relâchez et redescendez doucement la jambe vers le tapis. Réalisez 3 séries de 15 mouvements en alternant entre les deux côtés.



Attention, le tronc doit rester bien droit!

	Bonne position	Mauvaise position
Ne pas tourner le bassin		
Ne pas incliner la colonne		
Ne pas creuser le bas du dos et maintenir le regard vers le sol		

Rappels des conseils d'hygiène de vie

Pour prévenir ou traiter l'œdème des membres inférieurs (chevilles notamment), il est conseillé de porter des bas de contention de classe II, de surélever les jambes au lit et d'éviter de rester dans une position statique prolongée. La pratique d'activités aquatiques est également recommandée (8).



Concernant le chaussage, choisissez préférentiellement des chaussures souples à l'intérieur desquelles vos pieds peuvent bouger. Marchez pieds nus le plus possible (9).



Les activités physiques présentent de nombreux effets bénéfiques pour votre santé et celle de votre bébé. Il est conseillé d'en pratiquer au moins 150 à 180 minutes par semaine, soit environ 30 minutes par jour. Les activités sportives les plus recommandées sont la marche, la natation, l'aquagym et le vélo d'appartement (10).



BIBLIOGRAPHIE

1. Najjarine A. Using the Anterior Line Method (ALM) to find subtalar neutral foot position. *Journal of Science and Medicine in Sport*. déc 2011;14:e89.
2. Ramachandra P, Kumar P, Kamath A, Maliya AG. Effect of intrinsic and extrinsic foot muscle strengthening exercises on foot parameters and foot dysfunctions in pregnant women: a randomised controlled trial. *International Journal of Therapy and Rehabilitation*. 2 févr 2019;26(2):1-11.
3. McKeon PO, Fouchet F. Freeing the foot: integrating the foot core system into rehabilitation for lower extremity injuries. *Clin Sports Med*. avr 2015;34(2):347-61.
4. Okamura K, Fukuda K, Oki S, Ono T, Tanaka S, Kanai S. Effects of plantar intrinsic foot muscle strengthening exercise on static and dynamic foot kinematics: A pilot randomized controlled single-blind trial in individuals with pes planus. *Gait & Posture*. janv 2020;75:40-5.
5. Alam F, Raza S, Moiz JA, Bhati P, Anwer S, Alghadir A. Effects of selective strengthening of tibialis posterior and stretching of ilopsoas on navicular drop, dynamic balance, and lower limb muscle activity in pronated feet: A randomized clinical trial. *Phys Sportsmed*. 3 juil 2019;47(3):301-11.
6. Akuzawa H, Imai A, Izuka S, Matsunaga N, Kaneoka K. The influence of foot position on lower leg muscle activity during a heel raise exercise measured with fine-wire and surface EMG. *Phys Ther Sport*. nov 2017;28:23-8.
7. Gasquet B de. Abdominaux: arrêtez le massacre ! : méthode abdologie de Gasquet. 2011.
8. Van Kampen M, Devoogdt N, De Groef A, Glielen A, Geraerts I. The efficacy of physiotherapy for the prevention and treatment of prenatal symptoms: a systematic review. *Int Urogynecol J*. nov 2015;26(11):1575-86.
9. Brigaud F. Corriger le pied sans semelle : pied pronateur, supinateur & prévention des entorses. 2015.
10. HAS. Prescription d'activité physique et sportive pendant la grossesse et en post-partum. 2019 [cité 1 mai 2020]. Disponible sur : https://www.has-sante.fr/docs/rd/app_329_ref_aps_grossesse_vf

ANNEXE X : Questionnaire XAAP



X-AAAP pour les femmes enceintes

Évaluation médicale de l'aptitude à l'activité physique

Le X-AAAP pour les femmes enceintes est un guide servant à déterminer l'aptitude des femmes à participer à un cours prénatal de conditionnement physique ou à tout autre programme d'exercices.

Les femmes en santé qui ont une grossesse sans complications peuvent intégrer l'activité physique à leur vie quotidienne et prendre part à un programme d'exercices sans risque notable pour elles ou leur enfant à naître. Les bienfaits escomptés de ce type de programmes comprennent l'amélioration de la condition physique aérobie et musculaire, une prise de poids appropriée et un accouchement plus aisé. La pratique régulière d'activité physique peut également contribuer à prévenir l'intolérance au glucose et l'hypertension liées à la grossesse.

Un programme d'exercices prénatal est jugé sûr si la réserve physiologique mère-fœtus est suffisante. Le X-AAAP pour les femmes enceintes est une liste de vérification et de prescription utilisée par les professionnels de la santé afin d'évaluer les femmes enceintes qui désirent entreprendre un programme prénatal de conditionnement physique et pour assurer la supervision médicale continue des patientes enceintes qui font de l'exercice.

Voici la marche à suivre pour l'utilisation du X-AAAP pour les femmes enceintes (4 pages) :

- 1 La patiente doit remplir la section « Renseignements sur la patiente » et répondre aux questions de la « Liste de vérification préexercice » (parties 1, 2, 3 et 4 de la page 1), pour ensuite remettre le formulaire au professionnel de la santé qui assure le suivi de sa grossesse.
- 2 Le professionnel de la santé doit s'assurer que l'information fournie par la patiente est exacte, puis remplir la section C intitulée « Contre-indications à l'exercice » (page 2), à la lumière des renseignements médicaux actualisés.
- 3 S'il n'y a aucune contre-indication à l'exercice, la section « Évaluation de l'état de santé » (page 3) doit être remplie et signée par le professionnel de la santé. Par la suite, la patiente doit remettre la fiche à son professionnel de conditionnement physique prénatal.

En plus de faire l'objet d'un suivi médical rigoureux, il est suggéré de faire des exercices de nature, d'intensité et de durée adéquates afin d'augmenter la probabilité d'une issue de grossesse favorable. Le X-AAAP pour les femmes enceintes fournit des recommandations pour la prescription personnalisée d'exercices (page 3) et la mise en œuvre de programmes d'exercices sécuritaires (page 4).

Note : Les sections A et B doivent être remplies par la patiente avant la rencontre avec le professionnel de la santé.

A RENSEIGNEMENTS SUR LA PATIENTE

NOM _____ ADRESSE _____

N° DE TÉLÉPHONE _____ DATE DE NAISSANCE JJ / MM / ANNÉE _____ N° D'ASSURANCE-MALADIE _____

NOM DU PROFESSIONNEL DU CONDITIONNEMENT PHYSIQUE PRÉNATAL _____ N° DE TÉLÉPHONE DU PROFESSIONNEL DU CONDITIONNEMENT PHYSIQUE PRÉNATAL _____

B LISTE DE VÉRIFICATION PRÉEXERCICE

PARTIE 1 : ÉTAT DE SANTÉ GÉNÉRAL

- Avez-vous déjà : O N
- 1 Vécu une fausse couche?
 - 2 Eu des complications lors d'une grossesse précédente?
 - 3 Rempli un Q-AAAP au cours des 30 derniers jours?

Si vous avez répondu « oui » à la question 1 ou 2, veuillez préciser : _____

Nombre de grossesses avant celle-ci? _____

PARTIE 2 : ÉTAT DE LA GROSSESSE ACTUELLE

Date prévue de l'accouchement : JJ / MM / ANNÉE _____

Au cours de la grossesse actuelle, avez-vous éprouvé un ou plusieurs des symptômes suivants : O N

- 1 Fatigue excessive?
- 2 Saignements vaginaux (« spotting »)?
- 3 Évanouissements ou étourdissements inexplicables?
- 4 Douleurs abdominales inexplicables?
- 5 Enflure soudaine des chevilles, des mains ou du visage?
- 6 Maux de tête persistants ou problèmes liés aux maux de tête?
- 7 Enflure, douleur ou rougeur à un mollet?
- 8 Absence de mouvement du fœtus après le 8^e mois?
- 9 Absence de gain de poids après le 5^e mois?

Si vous avez répondu « oui » à une ou plusieurs des questions ci-dessus, veuillez préciser : _____

PARTIE 3 : HABITUDES EN MATIÈRE D'ACTIVITÉ PHYSIQUE AU COURS DU DERNIER MOIS

- 1 Énumérez uniquement les activités de conditionnement physique ou de loisirs pratiquées sur une base régulière : _____

INTENSITÉ	FRÉQUENCE (fois/semaine)			DURÉE (minutes/jour)		
	1 à 2	2 à 4	4 +	< 20	20 à 40	40 +
Élevée	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Moderée	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Faible	_____	_____	_____	_____	_____	_____

- 2 Votre occupation courante (au travail/à la maison) suppose-t-elle : O N
 - Le levage d'objets lourds?
 - Une fréquence de marche/montée d'escaliers élevée?
 - De la marche occasionnelle (> 1 fois/heure)?
 - L'adoption d'une position debout prolongée?
 - L'adoption d'une position assise prolongée?
 - Des activités quotidiennes normales?
- 3 Fumez-vous présentement la cigarette?
- 4 Consommez-vous de l'alcool?

PARTIE 4 : INTENTIONS QUANT À L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

Quelles activités physiques avez-vous l'intention de pratiquer? _____

S'agit-il d'un changement par rapport à ce que vous faites actuellement? OUI NON

*Note : Il est fortement conseillé aux femmes enceintes de ne pas fumer ou consommer d'alcool durant la grossesse et/à la lactation.

Le X-AAP pour les femmes enceintes est un guide servant à déterminer l'aptitude des femmes à participer à un cours prénatal de conditionnement physique ou à tout autre programme d'exercices.

Les femmes en santé qui ont une grossesse sans complications peuvent intégrer l'activité physique à leur vie quotidienne et prendre part à un programme d'exercices sans risque notable pour elles ou leur enfant à naître. Les bienfaits escomptés de ce type de programmes comprennent l'amélioration de la condition physique aérobie et musculaire, une prise de poids appropriée et un accouchement plus aisé. La pratique régulière d'activité physique peut également contribuer à prévenir l'intolérance au glucose et l'hypertension liées à la grossesse.

Un programme d'exercices prénatal est jugé sûr si la réserve physiologique mère-fœtus est suffisante. Le X-AAP pour les femmes enceintes est une liste de vérification et de prescription utilisée par les professionnels de la santé afin d'évaluer les femmes enceintes qui désirent entreprendre un programme prénatal de conditionnement physique et pour assurer la supervision médicale continue des patientes enceintes qui font de l'exercice.

Voici la marche à suivre pour l'utilisation du X-AAP pour les femmes enceintes (4 pages) :

- 1 La patiente doit remplir la section « Renseignements sur la patiente » et répondre aux questions de la « Liste de vérification préexercice » (parties 1, 2, 3 et 4 de la page 1), pour ensuite remettre le formulaire au professionnel de la santé qui assure le suivi de sa grossesse.
- 2 Le professionnel de la santé doit s'assurer que l'information fournie par la patiente est exacte, puis remplir la section C intitulée « Contre-indications à l'exercice » (page 2), à la lumière des renseignements médicaux actuels.
- 3 S'il n'y a aucune contre-indication à l'exercice, la section « Évaluation de l'état de santé » (page 3) doit être remplie et signée par le professionnel de la santé. Par la suite, la patiente doit remettre la fiche à son professionnel du conditionnement physique prénatal.

En plus de faire l'objet d'un suivi médical rigoureux, il est suggéré de faire des exercices de nature, d'intensité et de durée adéquates afin d'augmenter la probabilité d'une issue de grossesse favorable. Le X-AAP pour les femmes enceintes fournit des recommandations pour la prescription personnalisée d'exercices (page 3) et la mise en œuvre de programmes d'exercices sécuritaires (page 4).

Note : Les sections A et B devraient être remplies par la patiente avant la rencontre avec le professionnel de la santé.

RENSEIGNEMENTS SUR LA PATIENTE

NOM _____ ADRESSE _____

N° DE TÉLÉPHONE _____ DATE DE NAISSANCE / / ANNÉE N° D'ASSURANCE-MALADIE _____

NOM DU PROFESSIONNEL DU CONDITIONNEMENT PHYSIQUE PRÉNATAL _____ N° DE TÉLÉPHONE DU PROFESSIONNEL DU CONDITIONNEMENT PHYSIQUE PRÉNATAL _____

LISTE DE VÉRIFICATION PRÉEXERCICE

PARTIE 1 : ÉTAT DE SANTÉ GÉNÉRAL

Avez-vous déjà : O N

1 Vécu une fausse couche?

2 Eu des complications lors d'une grossesse précédente?

3 Rempli un Q-AAP au cours des 30 derniers jours?

Si vous avez répondu « oui » à la question 1 ou 2, veuillez préciser : _____

Nombre de grossesses avant celle-ci? _____

PARTIE 2 : ÉTAT DE LA GROSSESSE ACTUELLE

Date prévue de l'accouchement : / / ANNÉE

Au cours de la grossesse actuelle, avez-vous éprouvé un ou plusieurs des symptômes suivants : O N

1 Fatigue excessive?

2 Saignements vaginaux (« spotting »)?

3 Évanouissements ou étourdissements inexpliqués?

4 Douleurs abdominales inexpliquées?

5 Enflure soudaine des chevilles, des mains ou du visage?

6 Maux de tête persistants ou problèmes liés aux maux de tête?

7 Enflure, douleur ou rougeur à un mollet?

8 Absence de mouvement du fœtus après le 6^e mois?

9 Absence de gain de poids après le 5^e mois?

Si vous avez répondu « oui » à une ou plusieurs des questions ci-dessus, veuillez préciser : _____

PARTIE 3 : HABITUDES EN MATIÈRE D'ACTIVITÉ PHYSIQUE AU COURS DU DERNIER MOIS

1 Énumérez uniquement les activités de conditionnement physique ou de loisirs pratiquées sur une base régulière :

INTENSITÉ	FRÉQUENCE (fois/semaine)			DURÉE (minutes/jour)		
	1 à 2	2 à 4	4 +	< 20	20 à 40	40 +
Élevée	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Moderée	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Faible	_____	_____	_____	_____	_____	_____

2 Votre occupation courante (au travail/à la maison) suppose-t-elle : O N

Le levage d'objets lourds?

Une fréquence de marche/montée d'escaliers élevée?

De la marche occasionnelle (> 1 fois/heure)?

L'adoption d'une position debout prolongée?

L'adoption d'une position assise prolongée?

Des activités quotidiennes normales?

3 Fumez-vous présentement la cigarette?*

4 Consommez-vous de l'alcool?*

PARTIE 4 : INTENTIONS QUANT À L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

Quelles activités physiques avez-vous l'intention de pratiquer? _____

S'agit-il d'un changement par rapport à ce que vous faites actuellement? OUI NON

*Note : Il est fortement conseillé aux femmes enceintes de ne pas fumer ou consommer d'alcool durant la grossesse et l'allaitement.

© 2015, Société canadienne de physiologie de l'exercice

CONTRE-INDICATIONS À L'EXERCICE Cette section doit être remplie par le professionnel de la santé

CONTRE-INDICATIONS ABSOLUES

- Les situations suivantes s'appliquent-elles à la patiente :
- 1 Membranes rompues, travail prématuré? O N
 - 2 Saignements persistants au deuxième ou au troisième trimestre (placenta praevia)?
 - 3 Hypertension liée à la grossesse ou prééclampsie?
 - 4 Bécance du col utérin?
 - 5 Indices de retard de croissance intra-utérin?
 - 6 Grossesse de rang élevé (p. ex. triplés)?
 - 7 Diabète de type 1 non contrôlé, hypertension ou maladie thyroïdienne, autres maladies cardiovasculaires ou respiratoires graves ou trouble systémique?

CONTRE-INDICATIONS RELATIVES

- Les situations suivantes s'appliquent-elles à la patiente :
- 1 Antécédents d'avortement spontané ou de travail prématuré lors de grossesses antérieures?
 - 2 Maladie cardiovasculaire ou respiratoire légère ou modérée (p. ex. hypertension chronique, asthme)?
 - 3 Anémie ou carence en fer (Hb < 100 g/l)?
 - 4 Malnutrition ou trouble de l'alimentation (anorexie, boulimie)?
 - 5 Grossesse gémellaire après la 28^e semaine?
 - 6 Autre trouble médical important?

Note : Il se pourrait que les risques excèdent les bienfaits associés à la pratique régulière d'activité physique. La décision d'être physiquement active ou non devrait être prise avec l'aide d'un médecin qualifié.

RECOMMANDATION QUANT À L'ACTIVITÉ PHYSIQUE : Recommandée/approuvée Contre-indiquée

PRESCRIPTION D'EXERCICES AÉROBIES

RYTHME DE LA PROGRESSION : Le moment optimal pour progresser est durant le deuxième trimestre, puisque les inconforts et les risques associés à la grossesse sont alors plus faibles. La durée et la fréquence des exercices aérobies devraient être augmentées graduellement au cours du deuxième trimestre, allant d'un minimum de 15 minutes par séance, 3 fois par semaine (en respectant la fréquence cardiaque cible ou la PE appropriée) à un maximum d'environ 30 minutes par séance, 4 fois par semaine (en respectant la fréquence cardiaque cible ou la PE appropriée).

ÉCHAUFFEMENT/RÉCUPÉRATION : L'activité aérobie doit être précédée d'une brève période d'échauffement (de 10 à 15 minutes) et suivie d'une courte période de récupération (de 10 à 15 minutes). Des exercices de callisthénie, d'étirement et de relaxation de faible intensité devraient être inclus dans la période d'échauffement et de récupération.

F FRÉQUENCE
Commencez par 3 fois par semaine, puis augmentez à 4 fois par semaine.

I INTENSITÉ
Respectez la zone de perception de l'effort ou la plage de fréquence cardiaque appropriée.

T TEMPS (DURÉE)
Essayez de faire 15 minutes d'exercice, même si vous devez réduire l'intensité. Sinon, des périodes de repos en alternance avec des périodes d'effort peuvent vous aider.

T TYPE
Des exercices sans mise en charge ou des exercices d'endurance à faible impact sollicitant les groupes musculaires importants (p. ex. la marche, le vélo stationnaire, la natation, les exercices en piscine, les exercices aérobies à faible impact).

« TEST DE LA CONVERSATION » : Une dernière vérification, le « test de la conversation », peut être utilisée pour éviter l'éxténuation. L'intensité de l'exercice est trop élevée si vous n'êtes pas en mesure de tenir une conversation pendant l'exercice.

PRESCRIPTION/SURVEILLANCE DE L'INTENSITÉ : La meilleure façon de prescrire et de surveiller l'intensité est de combiner l'utilisation de la fréquence cardiaque et la perception de l'effort.

PLAGES DE FRÉQUENCE CARDIAQUE POUR LES FEMMES ENCEINTES

ÂGE DE LA FEMME ENCEINTE	CONDITION PHYSIQUE OU IMC	PLAGE DE FRÉQUENCE CARDIAQUE (battements/minute)
Moins de 20	–	140 à 155
20 à 29	Peu active	129 à 144
	Active	135 à 150
	En bonne forme physique	145 à 160
30 à 39	IMC > 25 kg m ²	102 à 124
	Peu active	128 à 144
	Active	130 à 145
	En bonne forme physique	140 à 156
	IMC > 25 kg m ²	101 à 120

Les plages de FC cible ont été dérivées de tests d'effort maximal administrés à des femmes enceintes à faible risque qui avaient d'abord été soumises à un examen médical. (Mottola et coll., 2006; Davenport et coll., 2008).

NIVEAU DE PERCEPTION DE L'EFFORT

Vérifiez la précision de votre plage de fréquence cardiaque en la comparant aux valeurs de l'échelle ci-dessous. Un niveau de perception de l'effort se situant entre 12 et 14 (quelque peu difficile) est approprié pour la majorité des femmes enceintes.

6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Très très facile	Très facile	Assez facile	Quelque peu difficile	Difficile	Très difficile	Très très difficile								

La version originale du X-AAP pour les femmes enceintes a été mise au point par M. Larry A. Wolfe, Ph. D., Université Queen's, et mise à jour par Mme Michelle F. Mottola, Ph. D., Université Western.

Aucune modification n'est permise. Nous vous encourageons à traduire et à reproduire ce document dans sa totalité.

Available in English under the title: Physical Activity Readiness Medical Examination for Pregnancy (PARmed-X for Pregnancy).

Des exemplaires additionnels du X-AAP pour les femmes enceintes peuvent être téléchargés à partir du site Web de la SCPE: www.scpe.ca/formulaires

PRESCRIPTION POUR L'ENTRAÎNEMENT MUSCULAIRE

Il est important de renforcer l'ensemble des principaux groupes musculaires durant la période prénatale et postnatale.

ÉCHAUFFEMENT ET RÉCUPÉRATION :

Amplitude du mouvement : cou, ceinture thoracique, dos, bras, hanches, genoux, chevilles, etc.

Étirements statiques : l'ensemble des principaux groupes musculaires

(Ne vous étirez pas trop!)

EXEMPLES D'EXERCICES DE RENFORCEMENT MUSCULAIRE

CATÉGORIE	OBJECTIF	EXEMPLE
Haut du dos	Promouvoir une bonne posture	Haussements des épaules, adduction des omoplates
Bas du dos	Promouvoir une bonne posture	Flexion-extension simultanée d'un bras et de la jambe du côté opposé, en alternant le côté
Abdomen	Promouvoir une bonne posture, prévenir les douleurs au bas du dos, prévenir le diastasis des grands droits, renforcer les muscles qui seront actifs lors de l'accouchement	Resserrement des abdominaux, redressements assis, redressements de la tête en décubitus latéral ou en position debout
Plancher pelvien (« Kegels »)	Promouvoir un bon contrôle de la vessie, prévenir l'incontinence urinaire	Mouvement de la « vague » et de « l'ascenseur »
Membres supérieurs	Renforcer les muscles qui supportent les seins	Rotations des épaules, extensions des bras modifiées contre un mur
Fessiers, membres inférieurs	Faciliter la mise en charge, prévenir les varices	Contraction des fessiers, élévations de la jambe tendue, élévations sur la pointe des pieds

PRÉCAUTIONS À PRENDRE PENDANT L'ENTRAÎNEMENT MUSCULAIRE DURANT LA GROSSESSE

VARIABLE	EFFETS DE LA GROSSESSE	MODIFICATIONS À APPORTER AUX EXERCICES
Position du corps	<ul style="list-style-type: none"> En position couchée (étendue sur le dos), l'utérus dilaté peut soit diminuer l'apport sanguin revenant de la partie inférieure du corps, car il exerce une pression sur une veine majeure (la veine cave inférieure), ou diminuer l'apport sanguin vers une artère majeure (l'aorte abdominale) 	<ul style="list-style-type: none"> Après 4 mois de grossesse, les exercices habituellement effectués en position couchée devraient être modifiés Ces exercices devraient être effectués en décubitus latéral ou debout
Souplesse des articulations	<ul style="list-style-type: none"> L'augmentation des niveaux d'hormones favorise une plus grande élasticité des ligaments Les articulations peuvent être plus vulnérables aux blessures 	<ul style="list-style-type: none"> Éviter les exercices qui comportent des changements de direction rapides ou des sauts Les étirements doivent être bien contrôlés
Muscles abdominaux	<ul style="list-style-type: none"> On peut rencontrer, lors des exercices abdominaux, la présence d'un gonflement des tissus conjonctifs longeant l'axe central de l'abdomen (diastasis des grands droits) 	<ul style="list-style-type: none"> Les exercices abdominaux ne sont pas recommandés en présence de diastasis des grands droits
Posture	<ul style="list-style-type: none"> L'augmentation du poids des seins et de l'utérus peut causer une projection vers l'avant du centre de gravité et augmenter la courbure du bas du dos Ce gain de poids peut aussi provoquer un affaissement des épaules vers l'avant 	<ul style="list-style-type: none"> Mettre l'accent sur une bonne posture et un alignement neutre du pelvis. Cet alignement neutre est obtenu en fléchissant les genoux, les pieds écartés de la largeur des épaules, et en alignant le pelvis à mi-chemin entre une lordose accentuée et une bascule postérieure du pelvis
Précautions à prendre lors des exercices de résistance	<ul style="list-style-type: none"> Mettre l'accent sur une respiration continue tout au long de l'exercice Expirer à l'effort, inspirer à la relaxation, faire un grand nombre de répétitions et utiliser des charges faibles Éviter la manœuvre de Valsalva (retenir la respiration tout en travaillant contre une résistance) puisqu'elle provoque une modification de la tension artérielle Éviter les exercices en position couchée après 4 mois de grossesse 	



X-AAP POUR LES FEMMES ENCEINTES – ÉVALUATION DE L'ÉTAT DE SANTÉ

(Cette fiche doit être remplie par la patiente et remise au professionnel du conditionnement physique prénatal après l'obtention de l'autorisation de faire de l'exercice.)

Je, _____ (nom de la patiente en caractères d'imprimerie), déclare avoir discuté de mon désir de faire de l'activité physique durant ma grossesse actuelle avec mon médecin et avoir reçu son approbation pour commencer à en faire.

SIGNATURE _____ DATE _____

NOM DU PROFESSIONNEL DE LA SANTÉ _____ COMMENTAIRES DU PROFESSIONNEL DE LA SANTÉ :

ADRESSE _____

N° DE TÉLÉPHONE _____

SIGNATURE DU PROFESSIONNEL DE LA SANTÉ _____

CONSEILS POUR MENER UNE VIE ACTIVE DURANT LA GROSSESSE

La grossesse est une période opportune pour adopter de saines habitudes de vie afin de protéger l'enfant à naître et de favoriser son développement sain. Ces changements comprennent adopter de meilleures habitudes alimentaires, éviter le tabac et l'alcool, et faire régulièrement de l'activité physique d'intensité modérée. Comme tous ces changements peuvent être maintenus pendant la période postnatale et bien au-delà, la grossesse est une très bonne période pour rendre ces habitudes permanentes en combinant l'activité physique à une alimentation saine et agréable ainsi qu'à une image corporelle favorable et à une image de soi positive.

VIVRE ACTIVEMENT :

- Consultez un médecin avant d'augmenter votre niveau d'activité durant la grossesse
- Faites de l'exercice régulièrement, mais évitez le surentraînement
- Faites vos exercices avec une amie enceinte ou joignez-vous à un programme d'exercices prénatals
- Suivez la formule FITT modifiée pour les femmes enceintes
- Soyez au fait des considérations en matière de sécurité relatives à l'exercice durant la grossesse

MANGER SAINEMENT :

- Assurez-vous de combler vos besoins caloriques, qui sont plus élevés qu'avant la grossesse (environ 300 calories de plus par jour)
- Suivez les recommandations du *Guide alimentaire canadien* et choisissez des aliments sains parmi les groupes suivants : céréales et pain à grains entiers ou enrichis, fruits et légumes, lait et produits laitiers, viandes, poissons, volaille et substituts
- Buvez chaque jour de 6 à 8 verres de liquide, y compris de l'eau
- Ne restreignez pas votre apport en sel
- Limitez votre apport en caféine, notamment le café, le thé, le chocolat et les colas
- Ne suivez pas un régime pour perdre du poids, ce n'est pas recommandé durant la grossesse

AVOIR UNE IMAGE DE SOI ET UNE IMAGE CORPORELLE POSITIVES :

- Souvenez-vous qu'il est normal de prendre du poids pendant la grossesse
- Acceptez le fait que votre corps changera durant la grossesse
- Vivez votre grossesse comme une expérience unique et enrichissante

Pour de plus amples renseignements et des conseils au sujet des exercices prénatals et postnatals, procurez-vous un exemplaire du livret intitulé *Vie active et grossesse : guide d'activité physique pour la mère et son bébé* © 1999. En vente auprès de la Société canadienne de physiologie de l'exercice, au www.scpce.ca. Coût : 11,95 \$

Agence de la santé publique du Canada. *Le guide pratique d'une grossesse en santé*. Ministère de la Santé, 2012. Ottawa (Ontario) K1A 0K9. <http://www.phac-aspc.gc.ca/hp-gs/pdf/hpguide-fra.pdf>. SC Pub. : 5831 Cat. : HPS-33/2012F. 1 800 O-Canada (1-800-622-6232) ATS : 1-800-926-9105.

Davenport MH, Charlesworth S, Vanderspank D, Sopper MM, Mottola MF. *Development and validation of exercise target heart rate zones for overweight and obese pregnant women*. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2008;33(5): 984-9.

Davies GAL, Wolfe LA, Mottola MF, MacKinnon C. *Directive clinique conjointe de la SOGC et de la SCPE : L'exercice physique pendant la grossesse et le postpartum*. *Can J Appl Physiol*. 2003;28(3): 329-341.

Mottola MF, Davenport MH, Brun CR, Inglis SD, Charlesworth S, Sopper MM. *VO₂ peak prediction and exercise prescription for pregnant women*. *Med Sci Sports Exerc*. 2006 Aug;38(8):1389-95. PMID: 16888450

CONSEILS DE SÉCURITÉ

- Évitez de faire de l'activité physique par temps chaud et humide, particulièrement durant le premier trimestre
- Évitez les exercices isométriques ou les exercices qui demandent un effort exigeant lorsque vous retenez votre respiration
- Ayez une alimentation et une hydratation adéquates, buvez du liquide avant et après l'entraînement
- Évitez les exercices en position couchée sur le dos après le 4^e mois de grossesse
- Évitez les activités qui demandent un contact physique avec un partenaire ou qui présentent un risque de chute
- Connaissez vos limites – il n'est pas recommandé de s'entraîner à des fins compétitives durant la grossesse
- Soyez au fait des raisons de mettre fin à l'entraînement et consultez immédiatement un professionnel de la santé qualifié si de telles situations se présentent

MOTIFS POUR ARRÊTER LES EFFORTS PHYSIQUES ET CONSULTER UN PROFESSIONNEL DE LA SANTÉ

- Essoufflement marqué
- Douleur à la poitrine
- Contractions douloureuses de l'utérus (plus de 6 à 8 par heure)
- Saignement vaginal
- Toute perte vaginale (peut être une indication d'une rupture prématurée des membranes)
- Étourdissement ou évanouissement

RÉSUMÉ / ABSTRACT

Affaissement de l'arche longitudinale médiale chez la femme primigeste : une revue de la littérature et la proposition d'un protocole de prévention

Introduction : Les femmes ont tendance à développer des pieds plats valgus souples à partir du 2ème trimestre de grossesse, et plus particulièrement lorsqu'elles sont primigestes. Cette déformation semble persister après l'accouchement et peut être à l'origine de troubles musculosquelettiques. La prévention de son apparition semble donc pertinente. L'objectif de notre revue de la littérature est de déterminer l'efficacité du renforcement musculaire pour prévenir ou lutter contre l'affaissement de l'arche longitudinale médiale (ALM) en position statique. Un protocole de prévention de l'affaissement de l'ALM chez la femme primigeste sera proposé à la suite de notre recherche.

Matériel et Méthode : Les recherches bibliographiques ont été menées entre novembre 2019 et avril 2020, interrogeant les bases de données Medline, Cochrane Library, PEDro et Science Direct ainsi que le moteur de recherche Google Scholar. Les résultats ont été triés en suivant la méthode présentée par l'ANAES et en respectant les critères d'inclusion et d'exclusion. Nous avons analysé les références incluses, permettant ainsi de mettre en évidence les biais, la pertinence et la validité scientifique de chacune.

Résultats : Onze références ont été incluses dans notre revue, comprenant six essais contrôlés randomisés, trois essais contrôlés non randomisés et deux séries de cas. Ces articles étudient l'efficacité du renforcement des muscles intrinsèques et extrinsèques plantaires et des rotateurs latéraux de hanche.

Discussion : Il n'existe pas de consensus pour lutter contre l'affaissement de l'ALM par renforcement musculaire. Le renforcement des muscles intrinsèques plantaires et des rotateurs latéraux de hanche, ainsi que l'étirement des rotateurs médiaux de hanche semblent efficaces pour élever l'ALM en statique. Deux études évaluent l'efficacité de programmes de renforcement musculaire pour traiter et prévenir l'affaissement de l'ALM chez des femmes enceintes. Leurs résultats sont positifs et encourageants pour de futures études concernant cette population.

Mots clés : primigeste, pied plat valgus souple, affaissement de l'arche longitudinale médiale, renforcement musculaire, prévention.

Longitudinal medial arch collapse in primigravid women : a systematic review and a proposal of a protocol of prevention

Introduction : Women tend to develop flexible flat feet from the 2nd trimester of pregnancy, especially when they are primigravid. This deformity seems to persist after delivery and may be the cause of musculoskeletal disorders. Therefore, preventing its occurrence seems relevant. The objective of our review is to determine the effectiveness of muscle strengthening in preventing the fall of the medial longitudinal arch (MLA) in a static position. As a result of our research, a protocol preventing the collapse of MLA in primigravid women will be proposed.

Material and Method : Bibliographic researches were conducted between November 2019 and April 2020 querying the Medline, Cochrane Library, PEDro and Science Direct databases as well as the Google Scholar search engine. The results were sorted following the method presented by the ANAES and respecting the inclusion and exclusion criteria. We analyzed each included reference, thus highlighting each one's biases, relevance and scientific validity.

Results : Eleven references were included in our review ; six randomized controlled trials, three non-randomized controlled trials and two series of cases. These articles study the effectiveness of strengthening the intrinsic and extrinsic plantar muscles and lateral hip rotators.

Discussion : There is no consensus in preventing MLA by strengthening muscles. Strengthening the intrinsic plantar muscles and lateral hip rotators as well as stretching the medial hip rotators appear to be effective in elevating static MLA. Two studies evaluate the effectiveness of muscle strengthening programs in order to treat and prevent MLA collapse in pregnant women. Their results are positive, encouraging future studies in this population.

Key words : primigravid, flexible flatfoot, longitudinal medial arch collapse, muscle strengthening,